



Eveliina Salerma

## **Kampusalueiden CO<sub>2</sub>-päästöjen pienentäminen uusiutuvan energian keinoin**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 25.11.2017

Valvoja: Professori Risto Kosonen

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Jussi From

---

**Tekijä** Eveliina Salerma

---

**Työn nimi** Kampusalueiden CO<sub>2</sub>-päästöjen pienentäminen uusiutuvan energian keinoin

---

**Koulutusohjelma** Energia- ja LVI-tekniikka

---

**Pääaine** LVI-tekniikka

---

**Koodi** K3008

---

**Työn valvoja** Professori Risto Kosonen

---

**Työn ohjaaja** Diplomi-insinööri Jussi From

---

**Päivämäärä** 25.11.2017

---

**Sivumäärä** 108+42

---

**Kieli** Suomi

---

### Tiivistelmä

Suomessa noin 40 % kokonaisenergiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä muodostuu rakennusten energiankulutuksesta. Kamppailussa ilmastomuutosta vastaan olemassa olevan rakennuskannan energiankulutuksen vähentäminen sekä uusiutuvien energianlähteiden käytön lisääminen ovat merkittäviä toimia.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia, millä uusiutuvan energian tekniikoilla on suurin vaikuttavuus kampusten energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen Suomen yliopistokiinteistöt Oy:n (SYK) kampuksilla. Työ jakautui kahteen osaan: esiselvitysvaihe ja energiaselvitykset. Esi selvitysvaihe toteutettiin laadullisena tutkimuksena, jossa aineistoa kerättiin kaikkien SYK:n suurimpien kampusten osalta. Aineistona käytettiin kohteiden huoltokirjaa, energiamanagereiden kohdekohtaisia tietoja, paikkatietoon perustuvia karttoja ja alueellisten tavoitteiden julkisia julkaisuja. Aineiston avulla tutkittiin kaikkien kampusten uusiutuvan energian hyödyntämispotentiaali maalämmön, vesistölämmön, aurinkosähkön osalta verraten potentiaalia nykyisen energian hintaan, päästöihin sekä kaupunkikohtaisiin tavoitteisiin. Energiaselvityksissä paneuduttiin tarkemmin esiselvityksessä valikoituihin parhaimman potentiaalin kampuksiin ja tehtiin hanketason energiaselvitykset kolmelle kampukselle. Energiaselvityksillä tutkittiin, millä uusiutuvan energian tekniikoista voidaan vähentää rakennusten hiilidioksidipäästöjä taloudellisesti kannattavasti. Suuresta kiinteistökannasta oli mahdollista tunnistaa kohteet, joissa uusiutuvalla paikallisesti tuotetulla energialla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä investointien taloudellinen kannattavuus huomioiden. Sekä aurinkosähköjärjestelmien että maalämmön potentiaali kampuksilla arvioitiin hyväksi. Lämpöpumppujärjestelmien investoitavien eurojen ja päästövähennemän suhde (€/kgCO<sub>2</sub>) oli kuitenkin selvästi parempi kuin aurinkosähköjärjestelmillä.

Laajempi yhteistyö paikallisten kaukolämpöyhtiöiden kanssa hyödyttää sekä kiinteistönomistajaa että energiayhtiötä, joka pyrkii strategiansa toteuttamiseen. Lisäksi uudet energiapalvelualan liiketoimintamallit, joissa investoinnin rahoittaa ulkopuolinen, ovat kiinnostava tapa lisätä uusiutuvan energian osuutta nopeasti. Investoinnin riskin siirtyessä pois kiinteistönomistajalle ulkopuoliselle rahoittajalle, on kiinteistönomistajan mahdollista tehdä useampia uusiutuvan energian toteutuksia samanaikaisesti.

Uusiutuvan energian potentiaaliin vaikuttavaa dataa on avoimesti saatavilla ja sen hyödyntäminen ja yhdistäminen esimerkiksi koko Suomen kattavaksi uusiutuvan energian potentiaaliksi nähdään hyödyllisenä. Geoenergiapotentiaalikartat, aurinkosähkölaskurit ja kaupunkien ilmastotavoitteet, paikalliset päästökertoimet sekä kaukolämmön hintatilastot yhdistämällä olisi mahdollista luotettavasti vertailla, missä päin Suomea uusiutuvan energian lisäämisellä on suurin vaikuttavuus ja taloudellinen kannattavuus. Näin saatavilla olevasta tiedosta voisivat kiinteistöomistajien ja kuntien lisäksi hyötyä myös paikalliset energiayhtiöt, jotka voisivat käyttää tietoa kilpailualustanaan.

**Avainsanat** uusiutuva energia, hajautettu energiantuotanto, maalämpöpumppu, vesistölämpöpumppu, aurinkosähköjärjestelmä, potentiaali, ilmastostrategia, CO<sub>2</sub>-päästöt

---

---

**Author** Eveliina Salerma

---

**Title of thesis** Reducing carbon dioxide emissions on University campus areas with renewable energy

---

**Degree programme** Energy and HVAC-Technology

---

**Major** HVAC-Technology

---

**Code** K3008

---

**Thesis supervisor** Professor Risto Kosonen

---

**Thesis advisor** M.Sc. (Tech.) Jussi From

---

**Date** 25.11.2017

---

**Number of pages** 108+42

---

**Language** Finnish

---

**Abstract**

In Finland the energy consumption of the buildings forms approximately 40 % of the total energy consumption and carbon dioxide emissions. Reducing the energy consumption and replacing the consumed energy with renewable energy in existing buildings have a key role in the fight against the climate change.

The aim of this research was to examine the effectiveness of renewable energy technologies by their ability to reduce carbon dioxide emissions on the largest campuses of the University Properties of Finland Ltd (SYK). The work was conducted in two phases: the preliminary study phase and the energy audits. The preliminary study phase was carried out as a qualitative analysis, in which the data was gathered from all major SYK campuses. The data was retrieved from the maintenance software, spatial data maps, regional targets from open publications and target-specific knowledge of the campuses from the energy managers. The data was used for examining the potential of ground source heat pumps, water source heat pumps and solar photovoltaic systems in energy production. The potential was measured and compared with current energy prices, CO<sub>2</sub> emission factors and city-specific targets. The energy audits focused on the campuses with best potential determined by the preliminary study. Three project-specific energy audits were carried out. Energy audits investigated which renewable energy technologies can reduce carbon dioxide emissions of buildings most economical way. From the big stock portfolio, it was possible to identify properties where renewable, locally produced energy can reduce carbon dioxide emissions considering the financial viability of the investments. The potential was good in solar photovoltaic systems and ground source heat pumps. The ratio between the investments and the CO<sub>2</sub> emission reduction (€/kgCO<sub>2</sub>) was noticeably better for the heat pump systems than for the solar photovoltaic systems.

Wider co-operation between real estate owners and the local district heating companies will benefit both of them to strive for the implementation of their environmental responsibility strategies. Furthermore the new energy service business models where the investment is outsourced, seem like an opportunity to increase the share of renewable energy quickly. As the risk of investing to new energy technologies goes away from the real estate owner to an external funder, several implementations can be made simultaneously.

Data related to the potential of renewable energy is openly available and its utilization and integration, for example, as a whole renewable energy potential map of Finland, is seen as useful. Combining the data from geothermal energy potential maps, solar photovoltaic calculators, climate targets of cities, local emission factors and district heating price statistics, could show where in Finland the renewable energy is the most effective and economic profitability. It would not only serve as a tool for property owners and municipalities, but also as a rival platform for local energy companies.

---

**Keywords** renewable energy, distributed generation, geothermal heat pump, water source heat pump, photovoltaic system, potential, climate strategy, carbon dioxide emissions

---

## Alkusanat

*Tämä diplomityö tehtiin Granlund Consulting Oy:lle vuonna 2017 ja se toteutettiin Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n toimeksiantona. Työn rahoittajina toimivat Suomen Yliopistokiinteistöt Oy ja Granlund Consulting Oy. Diplomityössä on selvitetty Suomen Yliopistokiinteistöjen uusiutuvan energian käyttöönottopotentiaali sen yhdeksällä suurimmalla kampuksella ja sen tavoitteena oli löytää energiankulutuksen päästöjen vähentämisen kannalta kustannustehokkaimpia uusiutuvan energian vaihtoehtoja.*

*Työn ohjaajana toimi Granlund Tampere Oy:n energia-asiantuntija Jussi From. Haluan kiittää Jussia työn aiheen löytämisestä ja jatkuvasta tsempestä ja tuesta diplomityön edessä, silloinkin, kun oma usko oli koetuksella. Suuri kiitos kuuluu myös työnantajalleni Granlund Consultingille ja useille asiantunteville työkavereille, joilta olen voinut kysyä neuvoa tarvittaessa. Kiitän myös Suomen Yliopistokiinteistöjä mielenkiintoisesta aiheesta ja erityisesti Ari-Pekka Lassilaa tsempestä ja ohjaamisesta. Haluan esittää myös suuret kiitokset työni valvojalle professori Risto Kososelle, joka ohjasi työni ja jolta sain asiantuntevia kehitysehdotuksia. Lopuksi haluan kiittää perhettäni, joka on tukenut minua opintojeni aikana. Kiitos isälleni, jonka ansiosta kiinnostuin LVI-tekniikasta. Kaikkein suurimman kiitoksen omistan kuitenkin ystäväilleni, joiden ansiosta olen pysynyt järjissäni tämän työn kirjoittamisen aikana.*

*Diplomityöprosessin myötä opin paljon Suomen ilmastopolitiikasta sekä uusiutuvan energian tulevaisuuden näkymistä alallani. Diplomityön tekeminen ehdottomasti nosti ammatillista asiantuntijuuttani, mutta sen aikana opin myös valtavasti itsestäni, omista heikkouksista ja vahvuuksistani, ja itseni johtamisesta. Tähän on hyvä päättää seitsenvuotinen taival Aalto-yliopistossa.*

Espoo 25.11.2017

*Eveliina Salerma*

Eveliina Salerma



## Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo .....	I
Merkinnät .....	III
Lyhenteet .....	IV
1 Johdanto .....	1
1.1 Tutkimusongelma ja tavoitteet .....	1
1.2 Asiakkaan esittely .....	2
1.3 Rakenne ja toteutus .....	4
2 Uusiutuvan energian tavoitteet Suomessa .....	6
2.1 Kansallisen tason tavoitteet .....	6
2.2 Kaupunkitason strategiat .....	8
2.3 Uusiutuvan energian tavoitteet yritystasolla .....	10
3 Kiinteistöomistajan mahdollisuudet uusiutuvaan energiaan Suomessa .....	13
3.1 Motivaatiotekijät uusiutuvan energian käytön lisäämiselle .....	13
3.2 Uusiutuvan energian lisääminen hajautetulla energiantuotannolla .....	14
3.3 Tärkeitä tekijöitä kiinteistökohtaisen energiantuotannon edistämisessä .....	16
3.3.1 Rajoittava aluesuunnittelu .....	16
3.3.2 Nykyisen rakennuskannan kehittämistä ohjaavat määräykset .....	16
3.3.3 Uusiutuvan energian tuet ja energiatehokkuussopimukset .....	17
3.4 Kiinteistökohtaista energiantuotantoa edistävät uudet liiketoimintamallit .....	18
3.4.1 Esimerkkejä uusista energiapalvelumalleista .....	18
3.4.2 Yhteistyö paikallisen energialaitoksen kanssa .....	19
4 Työssä tutkittavien uusiutuvan energian tekniikoiden esittely .....	21
4.1 Maalämpöpumppu ison mittakaavan kohteissa .....	21
4.1.1 Maalämpöpumpun toiminta .....	21
4.1.2 Geoenergiapotentiaalin määrittäminen .....	24
4.1.3 Maalämpöpotentiaalin määrittäminen tässä työssä .....	26
4.2 Vesistölämpöpumppu ison mittakaavan kohteissa .....	28
4.2.1 Vesistöpiiriratkaisu .....	29
4.2.2 Vesistövaihdinratkaisu .....	30
4.2.3 Vesistölämpöpotentiaalin määrittäminen tässä työssä .....	32
4.3 Aurinkosähköjärjestelmä ison mittakaavan kohteessa .....	33
4.3.1 Aurinkosähköpaneelien toiminta .....	34
4.3.2 Aurinkosähkön hinta .....	35
4.3.3 Aurinkosähköpotentiaalin määrittäminen .....	36
4.4 Energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjen laskenta .....	37
5 Kampuspotentiaali .....	40
5.1 Aurinkosähköselvityksen laskentaperiaatteet .....	40
5.2 Uusiutuvan energian potentiaalin määrittäminen kampuksilla .....	42
5.2.1 Joensuun kampuspotentiaali .....	43
5.2.2 Jyväskylän kampuspotentiaali .....	45
5.2.3 Kuopion kampuspotentiaali .....	48
5.2.4 Rovaniemen kampuspotentiaali .....	50
5.2.5 Lappeenrannan kampuspotentiaali .....	52
5.2.6 Oulun kampuspotentiaali .....	54

5.2.7	Tampereen kampuspotentiaali .....	57
5.2.8	Turun kampuspotentiaali .....	59
5.2.9	Vaasan kampuspotentiaali .....	61
5.3	Kampuspotentiaalin tulokset .....	64
5.3.1	Alueelliset tavoitteet .....	64
5.3.2	Maalämpö- ja vesistölämpöpumppu .....	65
5.3.3	Aurinkosähkö .....	67
6	Energiaselvitykset .....	69
6.1	Kustannuslaskenta .....	69
6.2	Maalämpöselitys .....	70
6.2.1	Kohteen valinta ja esittely .....	70
6.2.2	Kohteen energiantarve .....	71
6.2.3	Maaenergiajärjestelmän kuvaus ja mitoitus .....	73
6.2.4	Maaenergiajärjestelmän kannattavuuslaskenta .....	74
6.2.5	CO <sub>2</sub> -päästöjen vähentymän tarkastelu .....	76
6.3	Aurinkosähköselvitys .....	79
6.3.1	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja kustannuslaskenta .....	79
6.3.2	Aurora 2 aurinkosähköselvitys .....	80
6.3.3	Aurora 1 aurinkosähköselvitys .....	84
6.3.4	Aurinkosähköjärjestelmien CO <sub>2</sub> -päästöjen vähentymän tarkastelu .....	89
6.4	Vesistölämpöselvitys .....	90
6.4.1	Kohteen valinta ja esittely .....	90
6.4.2	Järjestelmän kuvaus ja mitoituskriteerit .....	91
6.4.3	Vesistölämpöpumpun kannattavuuslaskenta .....	91
6.4.4	CO <sub>2</sub> -päästöjen vähentymän tarkastelu .....	92
7	Tulosten käsittely .....	93
7.1	Uusiutuvan energian hyödynnettävyys SYK kampuksilla .....	94
7.2	Investoitavien eurojen ja säästettyjen CO <sub>2</sub> -päästöjen suhde .....	95
8	Yhteenveto ja johtopäätökset .....	97
8.1	Yhteenveto tuloksista .....	97
8.2	Tulosten yleistettävyys ja tulevaisuuden näkymät .....	97
	Lähdeluettelo .....	98
	Liiteluettelo .....	108
	Liitteet	

## Merkinnät

$K_i$	[€]	investoinnista aiheutuvat kulut vuonna $i$
NPV	[€]	Net Present Value, investoinnin nettonykyarvo
$r$	[€]	investoinnin korkokanta
$T_i$	[€]	investoinnista aiheutuvat tulot vuonna $i$

## Lyhenteet

BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method, brittiläinen ympäristösertifiointijärjestelmä
CHP	Combined Heat and Power, sähkön ja lämmön yhteistuotanto
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
COP	Coefficient of Performance, lämpökerroin ja lämpöpumpun hyötysuhde
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive, rakennusten energiatehokkuusdirektiivi
FISU	Finnish Sustainable Communities, Suomalaisten kuntien verkosto, jolla on yhteiset tavoitteet hiilineutraaliuteen, jätteenmyyteen ja kestäväan kulutukseen 2050 mennessä
HINKU	Kohti hiilineutraalia kuntaa- hanke.
IRR	Internal Rate of Return, sisäinen korkokanta
KL	Kaukolämpö
LEED	Leadership in Energy & Environmental Design, yhdysvaltalainen ympäristösertifiointijärjestelmä
LULUCF	land use, land-use change and forestry: maankäyttö, maankäytön muutos ja metsien käyttö
MLP	Maalämpöpumppu
PTS	Pitkän tähtäimen kunnossapitosuunnitelma, jossa rakennukseen kohdistuvat korjaustyöt on ajoitettu ja niille on laadittu kustannusarvio
RED	Renewable Energy Directive, uusiutuvan energian direktiivi 2020 eteenpäin
RES	Renewable Energy Directive, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseen tähtäävä direktiivi voimassa 2020 asti
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance, lämpöpumpun vuosihyötysuhde
SYK	Suomen Yliopistokiinteistöt Oy
TRT	Thermal Response Test, terminen vastetest
UE	Uusiutuva energia
VJK	Vedenjäähdytyskone
VLP	Vesistölämpöpumppu
Aktiivisyvyys	Energiakaivossa se osuus, jossa keruuputkisto on veden ympäröimänä
Hajautettu tuotanto	Mittakaavaltaan pienimuotoista energiatuotantoa, jossa tuotantolaitokset on hajautettu pienempiin yksiköihin
Keskitetty tuotanto	Energiantuotantoa, jossa energia tuotetaan suurissa tuotantoyksiköissä kaukana kuluttajista

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutos on globaali ongelma, jonka ratkaisemiseksi tarvitaan maiden rajojen ylittävää yhteistyötä. Sen torjuminen lähtee kansainväliseltä tasolta supistuen siitä koskemaan valtio-, kunta- ja yksilötason toimintaa. Euroopan unioni on julkaissut kesällä 2016 ehdotuksen, jonka mukaan jäsenmaiden tulee leikata päästökaupan ulkopuolisia kasvihuonekaasujen päästöjään vuosina 2021–2030. Ehdotuksen mukaan Suomen tavoitteena on leikata päästöjään 39 % vuoden 2005 tasoon verrattuna. Tämän lisäksi Suomi pyrkii hiilineutraaliuuteen vuoteen 2050 mennessä. Hiilineutraalius saavutetaan korvaamalla fossiiliset polttoaineet hiilidioksidivapailla polttoaineilla ja sitomalla hiilidioksidipäästöjä ilmakehästä hiilinielujen avulla.

Ilmastonmuutoksen myötä yhteiskunnallisesti merkittäväksi teemaksi on noussut uusiutuva energia. Tilastokeskuksen vuoden 2017 kahden ensimmäisen kvartaalin tilastoista selviää, että Suomessa kulutetusta energiasta noin kolmasosa on tuotettu uusiutuvilla energialähteillä. Suurin osuus (noin 27 %) energiankulutuksesta tuotetaan puupolttoaineilla. Vesivoiman osuus kokonaiskulutuksesta oli vain 1 %. (Tilastokeskus 2017)

Energiantuotannosta aiheutuvien päästöjen vähentäminen ja energiaomavaraisuuden lisääminen ovat tulevaisuuden haasteita. Kehitys edellyttää huomattavia parannuksia kiinteistöjen energiatehokkuuteen sekä uusiutuvan ja ylijäämäenergian nykyistä tehokkaampaa hyödyntämistä. Suomessa noin 40 % kokonaisenergiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä muodostuu rakennusten energiankulutuksesta. Asetettuihin päästötavoitteisiin ei päästä ainoastaan kiristämällä uudisrakennusten energiatehokkuusvaatimuksia. Rakennukset suunnitellaan ja rakennetaan Suomessa pitkäikäisiksi, joten olemassa olevien rakennusten potentiaali on suuri. Myös ympäristövastuujattelun lisääntymisen myötä modernit ja energiatehokkaat ratkaisut jo rakennetuissa kiinteistöissä kasvattavat merkitystään. Kun energiatehokkuutta vanhoissa kiinteistöissä ei voida enää kustannustehokkaasti kasvattaa, kiinteistöjen ympäristöystävällisyyttä on mahdollista parantaa korvaamalla osa energiankulutuksesta paikallisesti uusiutuvilla energialähteillä tuotetulla energialla, kuten aurinkosähköpaneelilla tai lämpöpumpulla.

## 1.1 Tutkimusongelma ja tavoitteet

Tässä diplomityössä kehitetään menetelmä, jolla kampusten uusiutuvan energian lisäämisen vaikuttavuutta voidaan arvioida. Vaikuttavuutta tarkastellaan energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjen vähentämisen näkökulmasta. Kirjallisuutta ja elinkaarilaskentaa apuna käytetään työssä selvitetään, mitkä ovat kiinteistöomistajan taloudellisesti kannattavat mahdollisuudet pienentää rakennusten energiankulutuksen hiilijalanjälkeä jo olemassa olevissa rakennuksissa. Kirjallisuusosuudessa keskitytään tutkimaan keinoja, joita suomalaisilla kiinteistöomistajilla on kiinteistöjensä energiankulutuksen päästöjen hillitsemiseen. Tutkimusosuudessa paneudutaan vaikutusmahdollisuuksiin, joilla olemassa olevien rakennusten päästöjä voidaan hillitä. Tarkoituksena on tutkia, miten uusiutuvilla energiamuodoilla voidaan kustannustehokkaasti tuottaa osa kampusalueiden sähkö- ja lämpöenergiasta ja näin toimimalla pienentää niiden aiheuttamia CO<sub>2</sub>-päästöjä. Paikallisesti kiinteistössä tuotetun uusiutuvan energian lisäksi työssä tarkastellaan myös yhteistyömalleja sidosryhmien, kuten energia-alan palveluyritysten ja energialaitosten kanssa.

Tutkimuskysymyksiä ovat:

- Millä uusiutuvan energian toimenpiteillä on suurin vaikuttavuus SYK:n kampusten CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisessä?
- Millä toimenpiteillä saadaan suurin päästövähennysvaikutus suhteessa taloudellisiin investointeihin €/kgCO<sub>2</sub>?
- Miten hyvin tulokset on yleistettävissä Suomen muille kiinteistöomistajille?

## 1.2 Asiakkaan esittely

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy (tässä myöhemmin SYK) omistaa kaikki pääkaupunkiseudun ulkopuoliset yliopistokampukset, jotka pitävät sisällään noin 1,3 miljoonaa bruttoneliötä opetus-, tutkimus- ja toimistokiinteistöä. SYK:n visio on olla tulevaisuudessa Euroopan arvostetuin kampuskehittäjä ja edelläkävijä myös ympäristö-, päästö- ja energia-asioissa. SYK oli kunniamaininnan arvoisesti mukana vapaaehtoisessa kiinteistöalan energiatehokkuussopimuksessa kaudella 2010–2016 saavuttaen tavoitteensa ja jatkaa myös tulevalla kaudella. SYK on tilannut tämän diplomityön aiheena kampusalueiden energiankäytön hiilidioksidipäästöjen pienentäminen uusiutuvan energian keinoin. SYK:llä on yhteensä 18 kampusta 13 eri paikkakunnalla Suomessa. Tässä diplomityössä käsitellään näistä 9 suurinta:

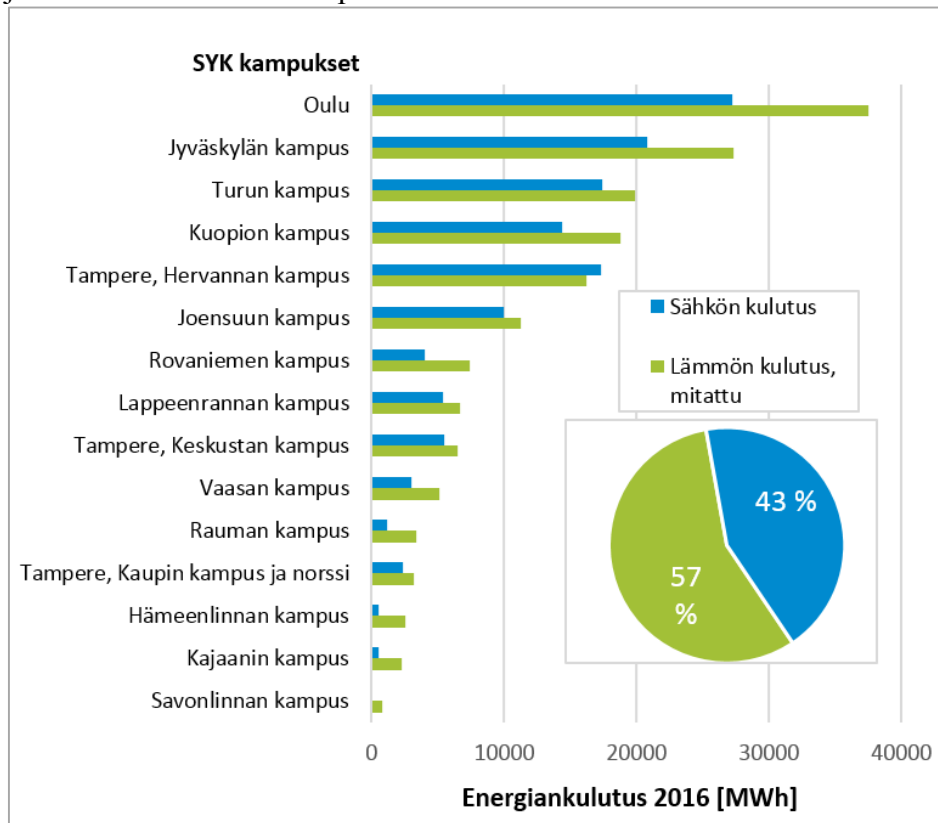
- Lappeenranta
- Joensuu
- Jyväskylä
- Kuopio
- Rovaniemi
- Tampere
- Turku
- Oulu
- Vaasa

Tampereen tarkastelussa tutkitaan sekä Hervannan, että Keskustan kampusta ja niitä nimitetään tässä työssä yhteisnimellä Tampereen kampus. Oulun tarkastelussa tutkitaan sekä Linnanmaan, että Kontinkankaan kampuksia ja niitä nimitetään tässä työssä yhteisnimellä Oulun kampus. Kaikki kampukset on nimetty kuvassa 1.



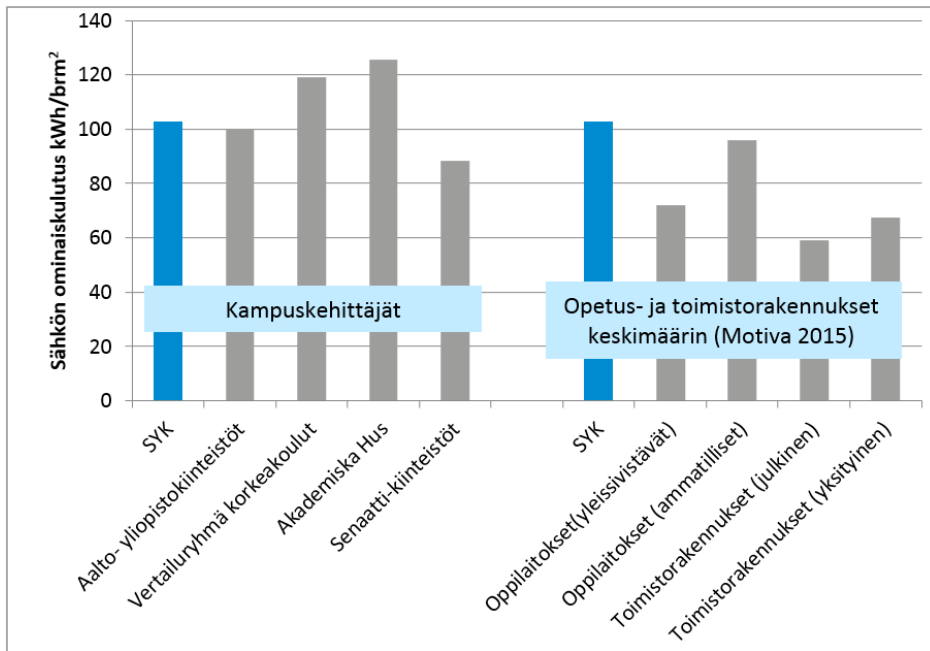
Kuva 1. SYK Oy:n omistamat ja hallinnoimat kampukset Suomessa (SYK Oy 2016)

Kuvassa 2 on esitetty SYK:n energiankulutus vuonna 2016 ja sen jakautuminen lämmityksen ja sähkön suhteen eri kampuksille.



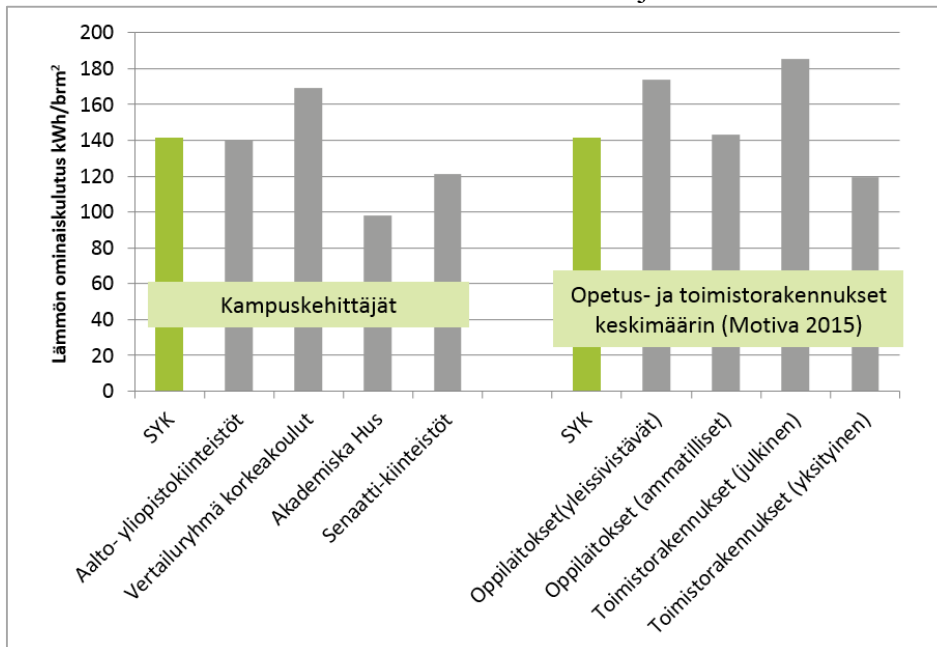
Kuva 2. SYK energiankulutuksen jakautuminen kampuksittain vuonna 2016

Vuonna 2016 SYK mitattu lämmitysenergiankulutus oli noin 169 GWh ja sähkönkulutus noin 130 GWh. Kampuksilla tuotetun uusiutuvan energian määrä oli 193 MWh, joka on konaisenergiankulutuksesta noin 0,06 %. Tässä diplomityössä käsiteltävien kampusten kokonaisenergiankulutus vastaa 92 % SYK:n kokonaisenergiankulutuksesta vuonna 2016. SYK:n suurimmat vuokralaiset ovat yliopistoja ja muun muassa niiden tutkimustoiminnasta johtuen kampusten sähkönkulutus on suurta. Vuonna 2016 ja sähkön ominaiskulutus 102,9 kWh/m<sup>2</sup>, joka on motivan tilastoimia keskimääräisiä opetus- ja toimistorakennuksia suurempi. Muihin kuvassa 3 esitettyihin kampuskehittäjiin verrattuna SYK sähkön ominaiskulutus on keskimääräinen.



Kuva 3. SYK sähkön ominaiskulutuksen vertailu muihin toimijoihin ja kansallisiin keskiarvoihin

Lämmityksen sääkorjattu ominaiskulutus oli vuonna 2016 141,2 kWh/m<sup>2</sup>. Kuvasta 4 nähdään, että SYK:n lämmön ominaiskulutus on Motivan tilastoimia tyyppirakennusten keskiarvoja hieman pienempi, johon yhtenä syynä voidaan pitää SYK:n toteuttamia laajoja energiansäästötoimenpiteitä lämmön osalta. Kuvaajissa esitetyt ominaiskulutustiedot perustuvat eri toimijoiden julkisiin yritysraportteihin ja motivan tilastoihin ja julkaisemiin mediaanikulutuksiin. Vertailuryhmä pitää sisällään Granlund kulutusseurannassa olevien korkeakoulukiinteistöjen keskimääräisen ominaiskulutuksen.



Kuva 4. SYK lämmön ominaiskulutuksen vertailu muihin toimijoihin ja kansallisiin keskiarvoihin

### 1.3 Rakenne ja toteutus

Diplomityön teorettinen viitekehys koostuu työn kirjallisuusosuudesta, joka jakautuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa käsitellään uusiutuvan energian tavoitteet Suomessa kansalliselta tasolta yritystasolle asti tarkasteltuna. Toisessa osassa käsitellään kiinteistöomistajan motivaatiotekijöitä uusiutuvan energian lisäämiselle kiinteistöissä ja pohditaan



mitä tarkoittaa hajautetusti toteutettu uusiutuvan energiantuotanto. Tämän jälkeen käsitellään kiinteistöomistajan mahdollisuuksia uusiutuvan energian käyttöön Suomessa jo olemassa olevissa rakennuksissa. Mahdollisuuksia tutkitaan rajoitteiden, lainsäädäntöjen ja tukien näkökulmasta. Lopuksi esitellään tässä työssä tutkittavien uusiutuvien energiamuotojen uusin tarjolla oleva tekniikka ja millä tavoilla kunkin tekniikan potentiaali SYK:n kampuksilla määritetään.

Työn tutkimusosuudessa on tarkoitus tunnistaa, millä SYK:n kampuksilla on suurin potentiaali vähentää energiankulutuksen CO<sub>2</sub>-päästöjä uusiutuvan energian keinoin. Tutkimuksessa keskitytään jo olemassa oleviin energiankulutukseltaan suurimpiin kampusrakennuksiin. Työn tilaajalta on saatu kampuksilla tutkittavat uusiutuvan energiamuodot, jotka ovat: maalämpöpumppu, vesistölämpöpumppu ja kattoasenteiset aurinkosähköjärjestelmät. Näistä energiantuotantomuodoista esitellään työn kirjallisuusosuudessa uusin käytössä oleva tekniikka, ja potentiaaliin määrittävät tekijät. Tutkimus jakaantuu kahteen osaan:

1. Esiselvitysvaihe
2. Energiaselvitykset.

Esiselvitysvaihe on luonteeltaan laadullinen tutkimus, jossa aineistona ovat kaikki SYK:n suurimmat kampukset. Aineisto kerätään käyttäen apuna kohteiden huoltokirjaa, energiamanagereiden kohdekohtaisia tietoja, paikkatietoon perustuvia kartoja ja alueellisten tavoitteiden julkisia julkaisuja. Aineiston avulla tutkitaan kaikkien kampusten uusiutuvan energian hyödyntämispotentiaali maalämmön, vesistölämmön, aurinkosähkön osalta verraten potentiaalia nykyisen energian hintaan, päästöihin sekä kaupunkikohtaisiin tavoitteisiin.

Energiaselvityksissä paneudutaan tarkemmin esiselvityksessä valikoituihin parhaimman potentiaalin kampuksiin ja tehdään hanketason energiaselvitykset esimerkkikohteille. Esiselvityksessä saadun kampuskohtaisen potentiaalin ja energiaselvitysten avulla luodaan yrityksen päätöksentekoa tukeva analyysi kiinteistökannan uusiutuvan energian potentiaalista ja pohditaan miten hyvin tulokset ovat yleistettävästi muille kiinteistöomistajille. Energiaselvityksillä myös pyritään luomaan tunnusluku €/kgCO<sub>2</sub>, joka kuvaa uusiutuvan energiamuodon avulla säästetyn hiilidioksidipäästön suhdetta sen aiheuttamaan investointiin.

## 2 Uusiutuvan energian tavoitteet Suomessa

YK:n Kioton ilmastosopimuksen, ja vihdoin vuonna 2015 allekirjoitetun Pariisin ilmastosopimuksen myötä ilmastomuutokseen on puututtu. Sopimuksien tavoitteena on pienentää kasvihuonekaasupäästöjä vähentämällä riippuvuutta fossiilisista polttoaineista, ja korvaamalla näitä uusiutuvilla energiantuotantotavoilla. EU:n 2030-tavoitteessa Suomelle on asetettu 39 % päästövähennystavoite kasvihuonekaasuille vuoteen 2005 verrattuna. Seuraavissa kappaleissa esitellään, mikä keskeinen vaikutus näillä sopimuksilla on Suomen kansalliseen ja kuntakohtaiseen energiapolitiikkaan uusiutuvan energian lisäämisen kannalta. Lopuksi näytetään esimerkein, miten nämä tavoitteet ovat valuneet yritysten strategioihin ja nimenomaan kiinteistöomistajille.

### 2.1 Kansallisen tason tavoitteet

Suomen kansallisia energia- ja ilmastotavoitteita ohjaa Euroopan unionin ja sitä kautta YK:n säädökset. Euroopan unioni ohjaa jäsenvaltioidensa toimintaa erilaisin ilmasto- ja energiapolitiittisten säädösten ja ohjeellisten tavoitteiden avulla, jotka antavat raamit kansallisen tason säädöksille ja ohjeille.

YK:n Kioton sopimuksen pöytäkirjan mukaan siihen sitoutuneet teollisuusmaat sitoutuivat kasvihuonekaasupäästöjen määrälliseen rajoittamiseen. Kioton sopimuksen ensimmäinen kausi alkoi vuonna 2008 ja loppui 2012. Toinen kausi alkoi 2013 ja loppuu 2020. Vuoden 2015 joulukuussa solmittu Pariisin ilmastosopimus vahvistaa maailmanlaajuisia ilmastotoimia entisestään, mutta se ei velvoita valtioita tiettyihin päästötavoitteisiin.

Energia- ja ilmastotiekartan keskeisin tavoite on hiilineutraali Suomi vuonna 2050. Konkreettisesti tämä tarkoittaa 80–95 % kasvihuonekaasunpäästöjen vähentämistä vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. (TEM 2014) Ympäristöministeri Tiilikainen arvioi helmikuussa 2017, että Suomella on mahdollisuus nousta ilmasto- ja energiapolitiikan mallimaaksi ja uskoo, että Suomen on mahdollista saavuttaa hiilineutraalius jo 2045 mennessä. (Ympäristöministeriö 2017)

Suomen hallitus hyväksyi vuoden 2016 lopussa kansallisen energia- ja ilmastostrategian vuoteen 2030. Vaikka kyseessä onkin kansallinen strategia, pohjautuvat sen linjaukset vahvasti kansainväliseen ilmastosopimusmekanismiin ja EU-tason instrumentteihin. Strategia sisältää linjaukset ja konkreettiset toimet joilla Suomi saavuttaa EU:ssa sovitut ja hallituksessa päätetyt tavoitteet. Pitkän aikavälin tavoite Suomella on olla hiilineutraali siten, että energijärjestelmä perustuu vahvasti uusiutuviin energialähteisiin. (TaVm 2017)

Keskeisimmät poliittiset linjaukset ja uusiutuvaan energiaan liittyvät tavoitteet kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa on listattu alla:

- Uusiutuvan energian käyttöä lisätään niin, että sen osuus energian loppukulutuksesta nousee yli 50 prosenttiin 2020-luvulla.
- Uusiutuvaan energiaan perustuvaa hajautettua sähkön ja lämmön tuotantoa edistetään. Hajautettua pientuotantoa pyritään lisäämään pääosin markkinaehtoisesti ja nykyisin taloudellisin kannustein
- Uusiutuvan energian investointitukia kohdennetaan ensisijaisesti uuden teknologian kaupallistamiseen sekä päästökauppasektorin ulkopuolisten sektoreiden sähkön- ja lämmöntuotantoon

- Uusiutuvan energian lisäämisen ja energiatehokkuuden parantamisen lisätoimilla energiaomavaraisuus nostetaan 55 prosenttiin energian loppukulutuksesta 2030 mennessä. (sisältää uusiutuvan energian, turpeen, jätteen, kierrätyspolttoaineet ja teollisuuden reaktiolämmön. Ei sisällä ydinvoimaa.)
- Metsäbiomassan merkitys Suomen uusiutuvan energian raaka-aineena on merkittävä. Tavoitteena kuitenkin on, että suurin osa metsäpohjaisesta energiasta tuotetaan markkinaehtoisesti muun puun käytön sivuvirroista.

Näiden uusiutuvaan energiaan liittyvien tavoitteiden lisäksi, strategiaan on kirjattu, että Suomi luopuu kivihiilen energiakäytöstä vuoteen 2030 mennessä. (Eduskunta 2016)

Strategisten tavoitteiden lisäksi Euroopan Unioni on säätänyt direktiivejä energiatehokkuudesta ja uusiutuvan energian käytöstä, joista oleellimmat tämän työn kannalta esitellään lyhyesti.

### ***EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)***

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi EPBD edellyttää, että kaikkien julkisten rakennusten tulee olla lähes nollaenergia rakennuksia vuoden 2018 jälkeen ja kaikkien rakennusten vuoden 2020 jälkeen.

EPBD direktiiviin on tehty 30.11.2016 muutosehdotus, joka on osa EU:n niin sanotun puhtaan energian pakettia. EU komission mukaan muutosehdotuksen tarkoituksena on nopeuttaa olemassa olevien rakennusten kustannustehokkaita peruskorjauksia. (Sisäilmautiset 2017) Muutosehdotus pitää sisällään ehdotuksen pitkän aikavälin peruskorjausstrategian laatimisvelvoitteesta. Velvoitteen mukaan jäsenvaltioiden on laadittava pitkän aikavälin strategia investointien saamiseksi käyttöön sekä julkisten että yksityisten asuin- ja kaupallisten rakennusten kannan peruskorjauksessa.

### ***RES uusiutuvan energian direktiivi 2009/28/EY***

RES-direktiivi 2009/28/EY, eli uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi, astui voimaan joulukuussa 2014. Sen mukaan EU:ssa tulisi vuoteen 2020 mennessä nostaa uusiutuvan energian osuus 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta. Direktiivi määrittelee jokaiselle jäsenmaalle kansallisen uusiutuvan energian prosentuaalisen tavoitteen energian loppukulutuksesta ottaen huomioon nykyisen uusiutuvan energian osuuden ja yleisen potentiaalín. Maakohtainen tavoite vaihtelee merkittävästi pienimmän tavoitteen olleen Maltalla 10 % ja suurimman Ruotsilla 49 %. Suomen kansallinen tavoite vuoteen 2020 on 38 %.

### ***RED II uusi uusiutuvan energian direktiivi vuodesta 2020 eteenpäin***

EU:ssa on kehitteillä talvipakettinakin tunnettu, uudistettu uusiutuvan energian käytön direktiivi (jäljempänä RED II-direktiivi) 2020 jälkeiselle ajalle, johon nykyisen RES-direktiivin tavoite päättyy. RED II-direktiivin on tarkoitus astua voimaan 1.1.2021. Direktiivin tarkoituksena on, että jäsenvaltiot vahvistavat yhteisesti, että uusiutuvan energian osuus Euroopan unionin energian loppukulutuksesta on 27 prosenttia vuonna 2030. Direktiiviin ei ole siis tulossa uusia maakohtaisia tavoitteita, mutta Suomen osalta uusiutuvan energian tavoitteen tulee olla edellisen RES direktiivin mukaisesti edelleen vähintään 38 % vuodesta 2021 eteenpäin. (Energiateollisuus 2017) (TaVm 8/2017)

Direktiiviehdotus sisältää kuitenkin kestävyyskriteereitä, joiden tarkoituksena on varmistaa, että uusiutuva energia tuotetaan kestävästi. Kestävyyskriteerien erityisenä tavoitteena on varmistaa, että bioenergian lisääntyvä käyttö tehdään siten, että se tuottaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästövähennyksiä fossiilisten polttoaineiden käyttöön verrattuna. Biopolttoaineille ja -nesteille kasvihuonekaasuvähennys on -50 %, -60 % tai -70 % laitoksen käyttöönottoajankohdasta riippuen ja biomassapolttaineille -80 % tai -85 % sähkön ja lämmöntuotannossa käyttöönottoajasta riippuen. Kestävyyskriteerien täyttäminen on ehtona sille, että bioenergia voidaan ottaa huomioon uusiutuvan energian EU-tavoitteissa. Valtioneuvoston U-kirjelmän, U 5/2017, mukaan kestävyyskriteereitä ei sovelleta jätteille ja tähteille tai alle 20 MW polttoaineteholtaan pienemmille laitoksille.

### ***LULUCF-asetus***

LULUCF-asetuksella säädellään sitä, kuinka maankäyttöä, metsiä ja niiden hiilinieluja kohdellaan kunkin EU-maan kasvihuonekaasupäästöissä. Suomen hiilinielu on kansainvälisesti verrattuna suuri. Vuonna 2016 Suomen hiilinielu oli 41 % muiden sektoreiden päästöistä, kun EU-maiden keskiarvo oli vain 7,1 %. Suomen hiilinielu on kasvanut vuoden 1990 jälkeen, johtuen mm hyvästä metsänhoidosta. (Tilastokeskus 2016) Asetukseen liittyy metsien käytön referenssitaso, jossa referenssitason ylittävät metsähakkuut on kompensoitava muilla ilmastotoimilla. LULUCF-asetuksen käsittely EU-tasolla päästöjen hillitsemisessä on Suomelle merkittävä, sillä suuri osa Suomen ilmasto- ja energiastrategian päästötavoitteista pohjautuu puupohjaisten polttoaineiden lisäämiseen. Esitys uhkaa hallituksen suunnittelemaa lisähakkuuta, joiden olisi määrä nostaa hakkuita nykyisestä 65 miljoonasta kuutiosta 80 miljoonaan kuutioon. (Paakkanen M. & ERVASTI A. 2017) EU-tasoinen päätöksenteko asetuksen yksityiskohdista on kesken tämän diplomityön kirjoitushetkellä.

## ***2.2 Kaupunkitason strategiat***

Yli kolmasosa Suomen kunnista on viimeisen kymmenen vuoden aikana laatinut ilmastostrategian. Kuntaliiton vuonna 2015 tekemän selvityksen mukaan kuntien ilmastotyö on hyvin eri vaiheissa ja kunnat toteuttavat strategiaansa eri tavoin. Isoissa kunnissa edellytykset toteuttaa strategiaa ovat paremmat kuin pienissä kunnissa resurssien puitteissa. Sekä pienissä, että isoissa kunnissa ilmastotyötä tehdään pitkälti vain hankkeiden kautta. Markkinoiden kautta määräytyviä ilmastotekoja näyttäisivät toteuttavan kaikki kunnat riippumatta siitä, onko kyseisellä kunnalla edes ilmastostrategiaa. Tällaisia ilmastotekoja ovat esimerkiksi kaukolämmön polttoaineratkaisut ja energiansäästötoimenpiteet. (Parviainen 2015)

Suurin osa 2010-luvun alkupuolella laadittujen ilmastostrategioiden ja ilmasto-ohjelmien tavoitteista liittyvät energiatehokkuuteen ja energiansäästöön. Numeeriset tavoitteet on pitkälti määritetty päästövähennysprosentin ja hiilineutraaliuden tavoitevuoden mukaan. Vasta 2015-vuoden jälkeen laadituissa strategioissa näkee myös konkreettisia uusiutuvan energian tavoitteita.

Seuraavan sivun taulukossa 1 on esitetty eräiden Suomen kaupunkien ilmastostrategioiden tai muiden sitoumuksien päätavoitteet. Taulukkoon 1 on koottu Suomen suurimmat kunnat ja tämän lisäksi kaupungit, joissa SYK:lla on kampuksia.

Taulukko 1. Suomen kaupunkien ilmastostrategioiden päätavoitteet

Kaupunki	Kaupungin ilmastostrategia päivätysvuosi ja lähde	Kaupungin ilmastostrategia tavoitteet lyhyesti
Helsinki	2013 (HEL 2017)	– Hiilineutraali 2050 – Päästövähennys 30 % 1990–2020 – UE 20 % vuonna 2020 – Energiatehokkuus paranee 20 %/hlö 2005–2020
Espoo	2016 (Espoo 2016)	– Hiilineutraali 2050 – 60 %/asukas päästövähennys 1990–2030
Vantaa	2012 (Vantaa 2017)	– Hiilineutraali 2050 – Päästövähennys 20 % 1990–2020
Tampere	2017 (Tampereen kaupunki 2017)	– Hiilineutraali 2030 – 40 %/asukas päästövähennys 1990–2030
Turku	2014 (Turun kaupunki 2017)	– Hiilineutraali 2040
Oulu	2016 (Oulun kaupunki 2017) (Covenant of Mayors for Climate & Energy 2016)	– Päästövähennys 40 % vuoteen 2030 mennessä
Jyväskylä	2016 (Jyväskylä kaupunki 2017)	– Hiilineutraali sähkön- ja lämmöntuotanto 2030 – Fossiiliton energiantuotanto ja liikkuminen 2050 – Päästövähennys 40 % 2012–2030
Lappeenranta	2015 (Lappeenrannan kaupunki 2015)	– Hiilineutraali 2050 – HINKU-kunta – Päästövähennys 80 % 2007–2030
Vaasa	1.2.2016 (Vaasan kaupunki 2016)	– Hiilineutraali 2035 – Päästövähennys 30 % 1990–2020
Rovaniemi	28.11.2011 (Rovaniemen kaupunki 2011)	– Maakuntansa edelläkävijä ilmastoasioissa – Energiantuotannon uusiutuvan energian osuus 5-kertaiseksi
Joensuu	2013 (Joensuun kaupunki 2014)	– Hiilineutraali 2025 – HINKU-kunta – Päästövähennys 80 % 2007–2030
Kuopio	6.4.2009 (Kuopion kaupunki 2017)	– Päästövähennys 40 % 1990–2020 – Hiilineutraali 2050

Kuntien päästövähennystavoitteet ovat pitkälti linjassa kansallisen ilmastostrategian kanssa. Monet kunnat myötäilevät täysin kansallisia tavoitteita. Kaikilla kunnilla ei kuitenkaan ole määrällisiä tavoitteita, joten tavoitteiden toteutumisen seuraaminen on hankalaa näissä kunnissa.

Suomessa on 34 HINKU kuntaa, jotka tähtäävät hiilineutraaliuteen 2030 mennessä vähentäen päästöjään 80 % vuoden 2007 tasoon verrattuna. SYK kampusalueista kaksi sijaitsee HINKU kunnassa, Joensuu ja Lappeenranta. Joensuun tavoite on jopa HINKU tavoitetta tiukempi ja se linjaa ilmasto-ohjelmassaan olevansa hiilineutraali vuoteen 2025 mennessä. Yksi ilmasto-ohjelman tavoite on myös se, että Joensuun energiankulutuksesta vähintään 90 % tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä vuonna 2025.

Isoimmista kaupungeista Turku aikoo olla hiilineutraali kansallista tasoa aiemmin vuonna 2040. Pääkaupunkiseudun tavoitteet ovat hiilineutraaliuden puolesta linjassa kansallisen tason kanssa ja Oulu ja Jyväskylä eivät ole asettaneet hiilineutraali-tavoitetta.

Esimerkkinä suuren kaupungin tavoitteesta nostettakoon esiin Tanskan pääkaupunki Kööpenhamina, joka on strategiassaan linjannut, että se haluaa olla hiilineutraali 2025. Se pyrkii vähentämään päästöjä 50 % 2025 mennessä mm. bioenergian avulla ja päästöttömän kaukolämmön avulla. Jäljelle jäävät päästöt kaupunki aikoo kompensoida uusiutuvalla tuulivoimalla kaupungin rajojen sisä- ja ulkopuolella. Kööpenhamina ei laske taseeseensa useimpien kaupunkien tavoin ulkopuolisten tavaroiden ja palveluiden aiheuttamia välillisiä päästöjä. (HEL 2017)

Kaupungeja vertailtaessa kannattaa ottaa huomioon, että tavoitteiden laskennassa voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, päästökertoimia ja sektorirajauksia. Myös vertailuvuosi vaihtelee kaupungeittain. Tarkempaa tarkastelua tehtäessä tulisikin tarkastella sektorikohtaisia indikaattoreita ja päästöjen kehittymistä kaupungin tavoitteisiin nähden. (HEL 2017)

Useat kunnat ja kaupungit ovat uusimassa tavoitteitaan uuden valtuustokauden aikana, joka valittiin vuonna 2017. Helsingin kaupungin vuoden 2016–2017 skenaariotyön tuloksena työryhmä ehdottaa kaupungille uusia tavoitteita vuoteen 2030. Selvityksen perusteella uudet tavoitteet olisivat hiilineutraalius 2040 ja 60 % päästövähennys 1990–2030. Yhteensä erillisiä tavoitteita on jopa 13 joista uusiutuvaan energiaan liittyvät ovat:

- Uudisrakennuksiin 60 % soveltuvasta katto pinta-alasta asennetaan aurinkosähköpaneelit.
- Vanhoihin rakennuksiin 25 % soveltuvasta pinta-alasta asennetaan aurinkosähköpaneelit.
- Paikallisesti tuotetun sähkön osuus nostetaan 10 %:iin Helsingissä kulutetusta sähköstä.
- Maalämmön osuus erillislämmityksessä nostetaan nykyisestä 4 %:sta 40 %:iin
- Helsingin kaupungin omat ajoneuvot muutetaan sähkö- tai biokäyttöisiksi. (HEL 2017)

### **2.3 Uusiutuvan energian tavoitteet yritystasolla**

Yhteiskuntavastuulla tarkoitetaan lainsäädännön vähimmäisvaatimuksia ylittävää vastuuta ympäristöstä, työntekijöistä, kuluttajista, lähiyhteisöistä ja sidosryhmistä. Varsin monissa suomalaisissa kiinteistöalan yrityksissä vastuullisuusajattelu painottuu ympäristövastuuseen ja vielä tarkemmin energiankulutukseen ja kustannuksiin. Alan edelläkävijäyritykset pitävät vastuullisuutta tärkeänä osana liiketoimintastrategiansa ja sillä tavoitellaan selkeästi kilpailuetua muihin nähden. Näissä yrityksissä vastuullisuustavoitteille ja toimenpiteille on määritetty selkeät mittarit ja niitä seurataan ja raportoidaan järjestelmällisesti esimerkiksi GRI:n (Global Reporting Initiative) mukaisesti. (Kaleva ym. 2013)

KTI:n, Kiinteistötieto Oy:n, vastuullinen kiinteistöliiketoiminta 2017 raportin mukaan energia-asiat ovat kiinteistöalan vastuullisuusraportoinnin keskiössä ja viime vuosina toimenpiteet uusiutuvien energialähteiden hyödyntämisen ja energiansäästön osalta ovat alkaneet näkymään. KTI:n tuottamasta barometristä käy ilmi, että yritykset uskovat kiinteistöjen energiatehokkuuden ja uusiutuvien energiamuotojen käytön kehittyvän toimialalla seuraavan kolmen vuoden aikana merkittävästi. 35 % barometriin vastanneista yrityksistä uskoo molempien kehittyvän merkittävästi ja 55 % uskoo molempien kehittyvän hieman. (Kiinteistötieto Oy 2017)

Uusiutuvan energian lisäämiseen liittyviä tavoitteita voi olla yritystasolla niin sanotusti suoria ja epäsuoria. Suora uusiutuvan energian lisäämiseen tähtäävä tavoite yritystasolla voi olla esimerkiksi uusiutuvan energian osuuden nostaminen tiettyyn prosenttiin yrityksen kokonaisenergiankulutuksesta. Tähän tavoitteeseen voidaan päästä sekä lisäämällä omaa uusiutuvan energian paikallista tuotantoa, että ostamalla alkuperätakuita ostoenergialle. Toinen suora uusiutuvan energian tavoite voidaan ajatella olevan energian omavaraisuusasteen nostaminen, eli ostoenergian määrän vähentäminen suhteessa itse tuotettuun energiaan. Näiden kahden niin sanotusti suoran uusiutuvan energian tavoitteen lisäksi, yrityksillä on paljon uusiutuvan energian lisäämiseen epäsuorasti vaikuttavia tavoitteita. Näitä tavoitteita ovat esimerkiksi:

- Hiilineutraalius/nolla hiilijalanjälki
- Energiatehokkuuden parantaminen (keskimääräinen ominaiskulutus mittarina)
- Energiansäästötavoite (MWh säästötavoite, esimerkiksi energiatehokkuussopimuksen kautta)
- LEED ja BREEAM ympäristöluokitusten ja sertifikaattien lisääminen kiinteistöissä (kappalemäärätavoite tai esimerkiksi kaikkien uudiskohteiden sertifiointi).

Yleensä keihäänkärkenä ympäristötavoitteissa on energiansäästö, joka on samalla suoraan kustannussäästö, ja kansalliselta ja kaupunkitasolta tuttu päästöjen vähentäminen. Yritykset eivät mielellään rajaa keinovalikoimaansa, joilla päästöjen vähenemiseen päästään. Tästä johtuen suoria uusiutuvan energian tavoitteita on harvalla yrityksellä. Tavoitteet voidaan täyttää esimerkiksi vain päästöttömän sähkön (ydinvoima) ostamisella tai uusiutuvan sähkön ostamisella, joka on helppoa toteuttaa ostamalla alkuperätakuilla tuotettua vedellä, tuulella tai auringolla tuotettua energiaa.

Seuraavan sivun taulukkoon 2 on kerätty muutaman yrityksen ympäristö- ja uusiutuvan energian tavoitteita. Taulukkoon merkatulla ETS tavoitteella viitataan energiatehokkuussopimukseen, johon yritys on liittynyt. Tällöin esimerkiksi yritys, joka on sitoutunut toimialojen energiatehokkuussopimukseen TETS:iin, on sitoutunut vähentämään energiankulutustaan 4 % vuoteen 2020 mennessä ja 7,5 % 2025 mennessä. (Motiva Oy 2017)

Aalto-yliopistokiinteistöt ACRE ja Ruotsissa toimiva Akademiska Hus ovat SYK:n kaltaisia yliopistokiinteistöjen omistajia ja kehittäjiä. ACRE:n työkalut omavaraiseen kampusalueeseen pitävät sisällään yhteistyötä paikallisen energiayhtiön kanssa ja sähkönhankinnassa alkuperätakuita.

Taulukko 2. Eräiden yritysten uusiutuvan energian tavoitteita

Yritys	Tavoitteet	Lähde
<i>Aalto-yliopisto-kiinteistöt ACRE</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETS-tavoite</li> <li>energiaomavarainen kampus 2030</li> </ul>	(Aalto Green Campus 2017)
<i>Akademiska Hus (Ruotsi)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vähentää ostetun energian määrää 50 % vuoteen 2025 mennessä vuoden 2000 tasosta</li> <li>pitkällä tähtäimellä rakennusten käytöstä aiheutuva hiilijalanjälki nollaan</li> </ul>	(Akademiska Hus 2017)
<i>SYK Oy</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETS-tavoite</li> <li>Kaikki merkittävälle uudis- ja perusparannuskohteille vähintään BREEAM "Very Good"</li> <li>Hiilineutraalit kampukset, ei tavoiteajankohtaa</li> </ul>	Ari-Pekka Lassila, ympäristöinsinööri SYK Oy
<i>Lähitapiola</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETS-tavoite</li> <li>UE tuotantoa vähintään yhtä paljon, kun on hallinnoidun kiinteistökannan kiinteistösähkön kulutus vuoden 2017 loppuun mennessä.</li> </ul>	(Lähitapiola 2017)
<i>Keva</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETS-tavoite</li> <li>Vihreän sähkön osuus 15 % 2020</li> <li>LEED ja BREEAM luokitukset kaikkiin uusiin toimitilakohteisiin</li> </ul>	(Keva 2016)
<i>Citycon</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ETS-tavoite</li> <li>Energiatehokkuuden lisääminen 10 % 2020 mennessä (MWh/m<sup>2</sup>)</li> <li>kasvihuonekaasupäästöjen pienentäminen 20 % 2020 mennessä (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</li> <li>uusiutuvan energian toteutettavuusselvitys aina hankkeissa</li> <li>yli 20 m€ hankkeille ympäristösertifikaatti</li> </ul>	(Citycon 2016)
<i>Technopolis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>energiatehokkuuden lisääminen 12 % 2020 mennessä (kWh/m<sup>2</sup>)</li> <li>kasvihuonekaasupäästöjen pienentäminen 60 % 2020 mennessä (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)</li> <li>Kaikille merkittävälle orgaanisille hankkeille LEED-ympäristöluokitus</li> </ul>	(Technopolis 2016)



### 3 Kiinteistöomistajan mahdollisuudet uusiutuvaan energiaan Suomessa

Ensiksi tässä kappaleessa käydään läpi merkittävät tekijät, jotka vaikuttavat kiinteistönomistajien haluun lisätä uusiutuvan energian käyttöä kiinteistöissään. Tämän jälkeen pohditaan, miten kiinteistönomistajan tulisi suhtautua hajautettuun ja keskitettyyn energiantuotantoon omistamissaan kiinteistöissä ja mikä on niiden vaikutus päästöjen vähentämisen näkökulmasta. Tämän jälkeen esitellään mahdolliset rajoitteet, lainsäädännöt ja hanketuet, joita kiinteistönomistaja voi kohdata. Lopuksi esitellään kiinteistökohtaista energiatuotantoa edistävät uudet liiketoimintamallit.

#### 3.1 Motivaatiotekijät uusiutuvan energian käytön lisäämiselle

Kiinteistönomistajan kiinnostusta uusiutuvaan energiaan voidaan tarkastella kiinteistöliiketoiminnan arvoverkoston ja liiketoiminnan ylläpitämisen näkökulmasta. Yleisesti voidaan todeta, että alan painopiste on siirtynyt viime vuosikymmeninä rakennusliikevetoisesta toiminnasta olemassa olevan kiinteistökannan omistamiseen, hallinnontiin ja kehittämiseen. Tässä kehitystyössä myös ympäristökysymysten käsittelyllä on entistä merkittävämpi rooli.

Kiinteistöliiketoiminnan arvoverkosto koostuu monista erilaisista toiminnoista ja toimijoista. Arvoverkoston laajuus johtuu kiinteistöjen ominaispiirteistä, joita ovat mm. kiinteistöjen pitkä elinkaari, suuret investoinnit ja käyttäjien erityyppiset ominaisuudet ja tarpeet. Kireä taloustilanne on arvoverkostoa viime aikoina voimakkaimmin muokannut tekijä. Käyttäjien tilantarpeiden väheneminen ja taloudellinen epävarmuus on ajanut tilanteeseen, jossa tilojen käyttäjillä ja vuokralaisilla on neuvotteluasema markkinoilla. (Kiinteistötieto Oy, 2010)

Kiinteistönomistajan ja -sijoittajan suurin motiivi ja lähtökohta liiketoiminnassaan on kiinteistöihin sidottujen pääomien tuotto. Tuottoa määrittää kiinteistöjen vuokrattavuus, arvon säilyminen ja kehittyminen sekä tuotot ja riskit. Arvon säilymisen kannalta kiinteistötekniikan modernisointi voi olla välttämätöntä, vaikka järjestelmien tekninen käyttöikä ei olisi-kaan vielä tullut tiensä päähän. Modernisoinnilla pyritään saamaan olosuhteet lähemmäs sitä tasoa, jonka uudisrakennukset pystyvät tarjoamaan. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna kiinteistöjen käyttöaste ja vuokralaisten pysyvyys ovat liiketoiminnan jatkuvuuden elinehtoja.

Uusiutuvaan energiaan investoiminen on viime vuosina muuttunut alati kannattavammaksi, kun alalle on tullut lisää toimijoita ja teknologiat ovat kehittyneet. Uusiutuvan energian investointia voi pitää sijoituskohteena siinä missä itse kiinteistöäkin. Esimerkiksi aurinkoenergia on lyhyellä aikajänteellä nostanut kannattavuuttaan järjestelmien hintojen tippumisen myötä. Sijoitetun pääoman tuotto aurinkosähköjärjestelmille voi tietyin reunaehdoin ylittää jopa 5-10 % välille. (Finsolar, 2015) Merkittävä motivaatiotekijä uusiutuvan energian lisäämiselle on saatavissa olevat kustannussäästöt energian hankinnassa ja sitä kautta saatu tuotto sijoitukselle.

SYK:n kaltaisille kiinteistönomistajille aiheutuu haasteita uusien vuokralaisten hankinnassa ja hallinnassa, kun yliopistojen tilan tarve vähenee niiden tiivistäessä toimintojaan. Tästä aiheutuu tarve markkinoida vapaana olevia tiloja entistä tehokkaammin. Kestävään kehitykseen liittyvät teemat sivuavat nykyisin lähes kaikkea liiketoimintaa, minkä vuoksi kiinteistönomistajan kannattaa satsata vihreään markkinointiin vuokralaisia etsiessään. Uusiutuvaan energiaan panostaminen on sekä kiinteistönomistajalta että kiinteistönkäyttäjältä vahva ja näkyvä kannanotto ympäristötietoisuuden puolesta. Tästä näkökulmasta kiinteistönomista-

jan kannattaa sisällyttää vihreiden rakennusten omistajuus ja vihreissä rakennuksissa työskentely osaksi strategiaansa. On tutkittu, että ympäristöystävälliset ominaisuudet rakennuksissa eivät vain ole rakennusten myynnin tai vuokrauksen tärkeimpiä markkinointivaltteja, vaan yksinkertaisesti jotain, mitä nykymarkkinoilla oletetaan olevan vuokrattavana olevien kiinteistöjen lähtötaso. (Eerikäinen ym. 2013)

Rakennetun ympäristön suuri energiankulutus sekä rakentamisen ja rakennuksen käytön aiheuttamat jätteet ovat edellä kuvatuista syistä nykyisin korostetusti esillä yritysten vastuullisuusstrategioissa ja vastuullisuusraporteissa. Suomen tuottamista päästöistä 35 % aiheutuu rakennetusta ympäristöstä ja 40 % energiankulutuksesta. (Kaleva ym. 2013) Sen lisäksi, että uusiutuvalla energialla voidaan vähentää suoraan ostettavan energian kulutusta ja kustannuksia, sen avulla voidaan myös pienentää rakennuksen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöjä ja näin olla mukana kansallisissa ja globaaleissa ilmastotalkoissa.

Tästä syystä uusiutuvalla energialla on vahva brändiviestinnällinen arvo. Toisinaan yritysten pinnalliselta ympäristöystävällisyydeltä vaikuttavaa toimintaa kuitenkin kyseenalaistetaan, jolloin puhutaan viherpesusta. Tällaisen vaikutelman välttämiseksi on arvioitava toiminnan rajoitteita ja mahdollisuuksia realistisesti.

Energian tehokasta käyttöä pidetään välttämättömänä jatkuvan vauraan tulevaisuuden kannalta. Energiatehokkuus on ollut huomion keskiössä jo pidemmän aikaa ja sen ympärille kehitetään uusia menetelmiä ja teknologioita kaiken aikaa. Ihmiskäyttäytyminen on tärkeä tekijä, kun puhutaan energian tehokkaammasta käytöstä ja tutkimuksissa on paljastunut monia erilaisia kuluttajaprofiileja, joilla on huomattavan erilaiset käsitykset energia-asioista. Kuluttajat eivät ole kuitenkaan ainoa ihmisryhmä, joka omaa erilaisia käsityksiä energiatehokkuudesta vaan myös alan ammattilaisilla ja asiantuntijoilla on toisistaan hyvinkin poikkeavia käsityksiä, käy ilmi Virkki-Hatakan tutkimuksessa. Suomeen sijoittuvan tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että energiatehokkuuden parissa työskentelevillä asiantuntijoilla eri koulutuksellisilla taustoilla on hyvin erilaisia käsityksiä energiatehokkuudesta. (Virkki-Hatakka et al. 2013) Tämä selvästi vaikeuttaa energiatehokkuuteen liittyvää päätöksentekoa, kun asiantuntijoilla on eri näkemys siitä, miten yhteiseen tavoitteeseen voidaan päästä.

### **3.2 Uusiutuvan energian lisääminen hajautetulla energiantuotannolla**

Suomen nykyinen energiantuotantojärjestelmä on luonteeltaan varsin keskitetty. Esimerkiksi kaupunkiympäristöissä energiaa tuotetaan keskitetyissä suurissa CHP-yhteistuotantolaitoksissa, jotka tuottavat samanaikaisesti sekä sähköä että kaukolämpöä. Vaikka suurin osa laitoksista käyttää fossiilisia energialähteitä, Pohjoismaissa metsäteollisuuden yhteyteen on rakennettu myös biomassaa hyödyntäviä laitoksia. Trendi onkin muuttumassa suuntaan, jossa myös suuret, metsäteollisuudesta kauempana sijaitsevat toimijat korvaavat osan fossiilisista polttoaineistaan esimerkiksi biomassalla tai rakentavat kokonaan uusia biomassaa- tai jätepolttolaitoksiin perustuvia tuotantolaitoksia. Suomessa vuonna 2016 CHP-laitoksissa palavasta polttoaineesta 60 % oli fossiilista polttoainetta (Energiateollisuus 2017a). Alhainen sähkön hinta ja lämmöntarpeen väheneminen uudisrakennuksissa ovat kuitenkin laskeneet yhteistuotannon kannattavuutta viime vuosina, eikä uusia investointeja CHP-laitoksiin ole tehty. Keskitetyn energiantuotannon etuja ovat kustannus- ja energiatehokkuus sekä suurten laitosten hyvin tunnettua ja pitkälle optimoitu teknologia. (Vihanninjoki 2015)( Salokoski 2017)

Hajautettu energiantuotanto on määritelmällisesti laaja käsite. Yleisesti sillä tarkoitetaan pienimuotoista, maantieteellisesti hajautettua energiantuotantoa, jossa vuosituotanto on suhteessa pientä verrattuna yleiseen teknologiakeskeiseen normiin. Siinä missä keskitetty energiatuotanto pohjautuu pitkälti fossiilisiin polttoaineisiin, hajautetussa energiantuotannossa käytetään yleensä enemmän paikallisia ja uusiutuvia energialähteitä. (Vihanninjoki 2015) Seuraavissa kappaleissa hajautetulla energiantuotannolla tarkoitetaan nimenomaan paikallisiin, uusiutuviin energialähteisiin perustuvaan sekä ilmastolliseen kestävyYTEEN ja hiilineutraaliuteen pyrkivää energiatuotantoa.

Käytännössä kiinteistönomistajalla on kaksi mahdollisuutta uusiutuvan energian hyödyntämiseen: ostaa sitä palvelun tarjoajalta tai tuottaa sitä itse. Suurten, keskitettyjen energiatuotajien valikoimia on viime vuosina täydennetty uusiutuvan energian tuotteilla, joita ovat esimerkiksi vesi-, tuuli- tai aurinkovoimalla tuotettua sähkö sekä biopolttoaineilla tuotettu kaukolämpö. (Helen 2017) Sähköverkon valtakunnallisen verkkorakenteen ansiosta keskitetysti tuotettua, uusiutuvaan energiaan perustuvaa alkuperätakuusähköä on suhteellisen helppo ostaa. Kiinteistönomistaja Helsingissä voi siis esimerkiksi halutessaan ostaa vihreää sähköä, joka on tuotettu Oulun Energian Toppilan voimalaitoksen seinäasenteisilla aurinkopaneelilla. Alkuperätakuilla ostettu energia on mahdollista raportoida uusiutuvaksi energiaksi ja näin vähentää yrityksen toiminnasta aiheutuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä. Alkuperätakuulla ostetun uusiutuvan energian päästöjä vähentävä vaikutus on kuitenkin kyseenalainen: alkuperätakuu ei vielä tarkoita sitä, että energiayhtiö tuottaisi enemmän uusiutuvaa energiaa, vaan se vain allokoii jo tuottamansa vihreän sähkön yritykselle, kun muiden energiayhtiön asiakkaiden päästöt vastaavasti nousevat.

Kaukolämpöä tuottavat energialaitokset ovat alkaneet tarjota myös uusiutuvan kaukolämmön tuotteita, joissa he kiinnittävät asiakkaalle tietyn energiamäärän vuodessa uusiutuvalla tuotettua kaukolämpöä. Helsingin energia jopa lupaa, että jokaista ostettua uusiutuvalla tuotettua kilowattituntia kohden he tuottavat seuraavana vuonna tuplamäärän. Ristiriitaisuutta aiheuttaa tieto, jonka mukaan Helenin kaukolämmön ominaispäästöt kasvoivat vuodesta 2015 vuoteen 2016 jopa 77 %. Kasvun kerrotaan olleen seurausta energiamarkkinoiden muutoksesta, jonka vuoksi kivihiilen polttaminen oli kannattavampaa kuin maakaasun. (Helen 2017) Kuluttajille tarjottavan kaukolämpöpalvelun uusiutuvan energian osuuteen vaikuttaa kysynnän ohella myös eri tuotantotapojen kustannusten vaihtelu.

Valtioneuvoston Pöyry Management Consultingilla teettämässä selvityksessä tarkasteltiin hajautetun energiatuotannon mahdollisuuksia ja vaikutuksia Suomessa vuoteen 2030 asti. Selvityksen mukaan tällä hetkellä hajautetuista energijärjestelmistä positiivisimmalta vaihtoehdolta vaikuttaa erityisesti aurinkosähkön tuotanto kiinteistön omaan käyttöön. Arvioidulla 700 MW:n kapasiteetilla voitaisiin tuottaa noin 0,7-0,8 % Suomen sähkön kokonaiskulutuksesta. Ongelma vain on se, että aurinkosähkön tuotanto ajoittuu keväästä syksyyn, minkä vuoksi sillä ei voida korvata talvella käytössä olevaa ja paljon päästöjä aiheuttavaa hiililauhdetta. Lämmöntuotannon osalta hajautetusti tuotetulla uusiutuvalla energialla suurin potentiaali on lämpöpumppuratkaisuilla, joilla korvataan nykyistä kiinteistökohtaista öljy-, kaas- ja sähkölämmitystä. Mikäli lämpöpumpuilla korvataan uusiutuvalla energialla tuotettua kaukolämpöä, voivat hiilidioksidipäästöt jopa kasvaa (riippuen sähköntuotannossa käytetyistä polttoaineista). Kaukolämmön korvautuminen maalämpöpumpuilla merkitsisi lämmöntuotannon sähköistymistä, joka edelleen kasvattaisi sähkön kulutuspiikkejä merkittävästi talviaikaan. CHP-laitoksen hyötysuhteen huonontuminen lisää paikallisen sähköenergian päästökerrointa ja nostaa näin välillisesti lämpöpumpun päästökerrointa. (Pöyry 2017)

Osaoptimoimalla yksittäisten kiinteistöjen päästöt mahdollisimman alhaisiksi riskinä on, että tästä aiheutuu haitallisia seurauksia laajemman energiajärjestelmän tehokkuudelle ja energiatuotannon ilmastopäästöille. Esimerkiksi pienten kaukolämpöverkkojen tapauksessa isojen kampuskokonaisuuksien erottaminen kaukolämpöverkosta voi huonontaa laitoksen hyötysuhdetta siten, että alueelliset päästöt itseasiassa kasvavat.

Kiinteistöalalla yritysten ympäristövastuuajatteluun liittyvät vahvasti yrityksen sidosryhmät. Sidosryhmien kanssa on käytävä aktiivista vuoropuhelua, jolla pyritään yhteisten ongelmien ja haasteiden ratkaisemiseen. Sidosryhmiin, joilla nähdään olevan vaikutus yrityksen ympäristövastuuseen, katsotaan perinteisesti kuuluvan kiinteistöjen asiakkaat, ylläpidon palvelutuottaja sekä rakentamisen palvelutuottaja. Yritykset motivoivat vuokralaisiaan energiansäästöön, ohjaavat palveluyrityksiään yhteisten tavoitteiden saavuttamiseen ja panostavat eettisten periaatteiden noudattamiseen rakennuttamisessa. (Kaleva ym. 2013) Toisaalta arvioidakseen oman panoksensa tarpeellisuutta ja laajuutta kiinteistöomistajan olisi tärkeää tunnistaa, miten sen sidosryhmät toimivat päästöjen vähentämiseksi. Yhtenä merkittävänä sidosryhmänä SYK:n kaltaiselle kampusomistajalle voidaan pitää paikallisia energialaitoksia.

Jo tälläkin hetkellä energialaitokset tekevät yhteistyötä kiinteistöomistajien kanssa tutkien yhdessä mahdollisuuksia lisätä uusiutuvan energian hankintaa. (Jyväskylän Energia 2016) Tämä avaa myös mahdollisuuden toteuttaa uusiutuva lämmöntuotanto, esimerkiksi iso geoenergiakenttä tai vesistölämpöpumppu, osana paikallista kaukolämpöverkkoa. Tavoitteiden ja niitä edistävien toimenpiteiden yhteisellä suunnittelulla voidaan vähentää myös alueellisen osaoptimoinnin haittoja ja kasvattaa myös energiayhtiön uusiutuvan energian määrää.

### ***3.3 Tärkeitä tekijöitä kiinteistökohtaisen energiantuotannon edistämisessä***

Tässä luvussa esitellään kiinteistössä uusiutuvan energian lisäämiseen liittyviä rajoittavia tekijöitä ja määräyksiä sekä uusiutuvan energian tukia ja kannustimia.

#### **3.3.1 Rajoittava aluesuunnittelu**

Rakennussuojelu toteutetaan yleisesti asemakaavalla. Asemakaavassa esitetään mahdollisuus korjaus- ja muutostöihin ja lisärakentamisen periaatteet. Rakennuksen suojelu voi kohdistua rakennuksen julkisivuun, kiinteään sisustukseen tai ympäristöön. Rakennuksen julkisivun suojelu saattaa estää esimerkiksi aurinkosähköpaneelien asentamisen tai vähintäänkin vaatii lausunnon museoviranomaiselta.

Maaperään liittyvien ominaisuuksien lisäksi geoenergian hyödynnettävyyteen liittyy myös oleellisesti alueen maaperään liittyvät kaavarasitukset ja maanalaiset suunnitelmat. Tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla tulee huomioida mahdolliset luolat, tunnelit ja kunnallisverkostot. (Lauttamäki & Kallio 2013)

#### **3.3.2 Nykyisen rakennuskannan kehittämistä ohjaavat määräykset**

Varsinaisia määräyksiä uusiutuvaan energiaan liittyen olemassa olevissa rakennuksissa kiinteistönomistajille ei ole, mutta energiatehokkuusvaatimukset peruskorjauksissa ohjaavat uusiutuvan energian käyttöön, koska ei ole olemassa loputtomasti keinoja, joilla energiankulutusta voidaan pienentää.

Olemassa olevia kiinteistöjä velvoittavat korjausrakentamismääräykset. Vuonna 2013 voimaantulleen ympäristöministeriön asetuksen 4/2013 mukaan luvanvaraisten rakennushankkeen yhteydessä on parannettava rakennuksen energiatehokkuutta, jos se on teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. Asetuksessa määritellään kolme vaihtoehtoista tapaa parantaa korjattavan rakennuksen energiatehokkuutta, joista kiinteistön omistaja voi valita sopivimman. (Ympäristö 2013) Asetuksissa määritellyistä vaihtoehtoista E-luvun pienentämiseen pyrkivässä vaihtoehdossa uusiutuvan energian lisäämisellä voidaan saada aikaan vaikuttavuutta.

E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskeamalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulos energiamuodoittain (Ympäristöministeriö 2011). Energiamuotojen kertoimet rakentamismääräyskokoelma D3 mukaan:

- Sähkö	1,7
- kaukolämpö	0,7
- kaukojäähdytys	0,4
- fossiiliset polttoaineet	1,0
- uusiutuvat polttoaineet	0,5

E-lukua laskettaessa uusiutuva omavaraisenergia ei kuitenkaan ole ostoenergiaa vaan se vähennetään suoraan ostoenergiankulutuksesta. Täten ostoenergian korvaaminen osittain uusiutuvalla itsetuotetulla energialla pienentää kiinteistön E-lukua. Esimerkiksi kaukolämmön korvaaminen lämpöpumpulla kuitenkin nostaa sähkönkulutusta. Sähkön energiamuodon kerroin on 2,4-kertainen kaukolämmön kertoimeen verrattuna. Voidaan kyseenalaistaa se, että kannustavatko energiamuotokertoimet lämpöpumppujen lisäämiseen ja onko toisaalta kaukolämmön alhainen energiamuotokerroin poliittinen vaikutuskeino. Kaukolämpökerroin ei ota huomioon sitä, millä kaukolämpö tuotettu ja asettaa nyt samalla viivalle kaikki kaukolämpöverkot niiden päästövaikutuksia huomioimatta.

Suomessa on tällä hetkellä käynnissä myös rakentamismääräyskokoelmien uudistaminen. Uusien rakentamismääräysten on tarkoitus tulla voimaan vuonna 2018. Rakentamismääräyskokoelman määräykset koskevat pitkälti vain uudisrakentamista, mutta korjaus- ja muutostöissä niitä sovelletaan myös mikäli toimenpiteen laatu ja laajuus tai käyttötavan muutos edellyttää. (Ympäristöministeriö 2016)

### 3.3.3 Uusiutuvan energian tuet ja energiatehokkuussopimukset

Yritykset voivat hakea energiatukea investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian käyttöä, lisäävät energiansäästöä tai vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja. Uusiutuvan energian investointituen prosenttiosuudet Suomessa vuodelle 2017 ovat:

- Lämpökeskushankkeet (puupolttoaineet) 10–15 %
- Lämpöpumppuhankkeet 15 %
- Aurinkolämpöhankkeet 20 %
- Pienvesivoimahankkeet 15–20 %
- Kaatopaikkakaasuhankkeet 15–20 %
- Aurinkosähköhankkeet 25 %
- Biokaasuhankkeet 20–30 %
- Pientuulivoimahankkeet 20–25 %.

Lämpöpumppuhankkeisiin, jotka liittyvät jäte- ja hukkalämmön hyötykäyttöön, sovelletaan energian säästöön liittyviä tukiprosentteja. (Tekes 2017)

Tärkeää on huomioida, että tukien suuruus voi muuttua tulevaisuudessa tai ne voivat jopa kokonaan poistua. Hallituksen tavoitteena on, että tulevaisuudessa uusiutuvan energian hankkeet toteutuisivat täysin markkinaehtoisesti, sillä tuet vääristävät markkinamekanismin toimintaa. (TaVm 2017) Tukien maksatus on siirtynyt vuoden 2017 alusta lähtien TEM:stä TEKES:iin. Vielä vuonna 2015 aurinkosähköjärjestelmien tuen suuruus oli 30 %, kun se vuonna 2016 ja 2017 on 25 %.

Vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset ovat vaihtoehto uudelle kansalliselle lainsäädännölle ja pakotuskeinoille, jotka voisivat heikentää yritysten kilpailukykyä. Energiatehokkuussopimuksilla pyritään tehostamaan päästökaupan ulkopuolelle jäävien kohderyhmien energiansäästöä, uuden teknologien käyttöönottoa ja lisäämään uusiutuvan energian käyttöä. Vapaaehtoisella sopimuksella halutaan tarjota yrityksille ja kunnille joustavampi tapa toteuttaa energiansäästöä, energiatehokkuustoimia ja investointeja tarvelähtöisesti oman aikataulun mukaisesti. Valtio myös tukee sopimukseen liittyneitä osapuolia tapauskohtaisesti uuden energiatehokkaan teknologian käyttöönottoon liittyvissä energiatehokkuusinvestoinneissa. Vain energiatehokkuussopimukseen liittyneet yritykset voivat hakea TEKES tukea myös tavanomaisen tekniikan energiatehokkuutta edistäviin investointeihin. Vuonna 2017 TEKES:n myöntämät tukiprosentit energiatehokkuutta edistäville tavanomaisen teknologian investoinneille ovat:

- 20 % energiatehokkuussopimukseen liittyneille yrityksille ja yhteisöille.
- 25 % kun edellä olevassa käytetään ESCO-palvelua.
- 15 % muille kuin energiatehokkuussopimukseen liittyneille yrityksille ja yhteisöille, kun käytetään ESCO-palvelua. (ETS 2017) (Tekes 2017)

### ***3.4 Kiinteistökohtaista energiantuotantoa edistävät uudet liiketoimintamallit***

Lähi vuosina Suomessa on noussut uusia liiketoimintamalleja uusiutuvan lähienergian ja energiapalvelun ympärille. Energiapalvelulla tarkoitetaan hyötyä, joka saadaan energiatehokkaasta teknologiasta tai toiminnasta, johon voi sisältyä toimitusoperaatio, ylläpito ja valvonta tai joku näiden yhdistelmistä. Suomessa energia-alan palveluyritykset tarjoavat muun muassa uusiutuviin energialähteisiin perustuvia lämmitysratkaisuja ja aurinkosähköpaneeliratkaisuja. Rahoitus toteutukseen tulee yleensä joko yrityksen omana investointina tai palveluyritys voi tarjota erilaisia rahoitusmalleja, kuten leasingsopimuksen, osamaksusopimuksen tai energian myyntisopimuksen tietyille ajanjaksolle.

#### **3.4.1 Esimerkkejä uusista energiapalvelumalleista**

ESCO (Energy Saving Companies) on palveluliiketoimintaa, jossa ulkopuolinen yritys toteuttaa asiakasyritykselle energiansäästöön tähtääviä investointeja ja toimenpiteitä. Palvelumallissa energiainvestointi maksetaan säästöillä, jotka syntyvät alentuneista energiakustannuksista. Asiakasyrityksen ei siis tarvitse investoida energiatehokkuustoimenpiteisiin itse. Tyypillisiä ESCO:lla toteutettavia energiatehokkuustoimenpiteitä ovat rakennusten talotekniikkajärjestelmien uusimiset ja energiantuotantojärjestelmät. Palvelumalli soveltuu siten hyvin myös uusiutuvan energian hankkeisiin.

FinSolar-hanke selvitti vuonna 2015 aurinkoenergian palvelutarjontaa Suomessa. Selvityksestä käy ilmi, että vuonna 2015 Suomessa oli:

- 28 yritystä, jotka tarjoavat ”avaimet käteen”- asennuksia tarkoittaen järjestelmiä, jotka siirtyvät tilaajan omistukseen investoitavaan kokonaishintaan.
- 22 yritystä, jotka tarjoavat aurinkoenergiaa leasingrahoitus- tai osamaksusopimuksilla ja
- 12 yritystä, jotka tarjoavat aurinkoenergiajärjestelmiä sähkön tai lämmön myyntisopimuksella. (Auvinen et al. 2016)

Aurinkoenergian myyntisopimuksen tapauksessa järjestelmän tuotosta ja huollosta vastaa yleensä voimalan rahoittaja eikä käyttäjä. Tämä malli voi sopia esimerkiksi kiinteistöomistajille, joilla on tahtotila päästöttömämpään energiaan, mutta rahaa investointeihin ei ole.

Uusiutuvan energian lämmitysratkaisuja tuotetaan vastaavanlaisilla rahoitusmalleilla kuin aurinkosähköt ratkaisuja. Uusiutuvaan energiaan pohjautuvat lämmitysratkaisut ovat yleensä joko biopolttoaineisiin perustuvia kattilalaitoksia tai nykyään suositaan kasvattavaan energiaan perustuvia lämpöpumppulaitoksia tai joskus jopa näiden yhdistelmiä. Tunnettuja energiapalvelun tarjoajia Suomessa tällä sektorilla ovat esimerkiksi Vapo Oy, Adven Oy ja St1 Lähienergia Oy.

Vapo Oy on erikoistunut biopolttoaineisiin perustuviin ratkaisuihin tarjoten pelleteillä toimivan lämpökeskuksen toimitusta, polttoainehuoltoa ja laitoksen ylläpitoa kohteissa, joissa kiinteistön lämmöntarve ylittää 3000 MWh. (Vapo Oy 2017) Vastaavasti Adven Oy tarjoaa liiketoimintamallia, jossa yritys rakentaa ja maksaa investointikustannukset maalämpö- ja jäähdytyslaitoksesta ja omistaa, huoltaa ja myy sen energian kiinteistöomistajalle. Tämäkään malli ei estä kiinteistönomistajaa hankkimasta laitteita myöhemmin itse, sillä Adven Oy:n hinnoittelumalliin kuuluu energian kiinteä hinta aina 5 vuoden sopimuskaudelle, jonka jälkeen kiinteistönomistaja voi valita haluaako ostaa lämpölaitoksen vai jatkaa sopimusta uudella kaudella. (Adven Oy 2017) Samankaltaisia maalämpölaitosratkaisuita toimittaa myös St1 Lähienergia Oy, joko avaimet käteen-periaatteella, elinkaarimallilla tai energian kuluutukseen perustuvalla sopimuksella. (St1 Lähienergia Oy 2017)

Energian ostosopimusmallissa on usein pitkät sopimuskaudet, jotka kiinteistöomistaja voi nähdä riskinä liiketoiminnalleen. Miten voidaan sitoutua 20 vuoden energianostosopimukseen, kun kiinteistön vuokrasuhde on solmittu vain viideksi vuodeksi eteenpäin? Toisaalta asia voidaan kääntää myös toisinpäin, sillä ympäristöystävällinen energiantuotanto kiinteistössä voidaan nähdä valttina vuokra ja myyntimarkkinoilla, kuten luvussa 3.1 todettiin. Yksi ostosopimusmuodon merkittävistä houkuttimista kuitenkin on se, että kiinteistönomistaja voi, investointi- ja ylläpitovastuun siirtyessä muille, keskittyä ydinliiketoimintaansa eikä sen itse tarvitse ryhtyä lähienergian tuottajaksi.

### 3.4.2 Yhteistyö paikallisen energialaitoksen kanssa

Kun kiinteistö on jo kaukolämpöverkon asiakas, oma energiantuotantolaitosratkaisu saattaa tuntua epäloogiselta siirtymältä. Tästä syystä isojen kiinteistöjen osalta yhteistyö paikallisen energialaitoksen kanssa on houkutteleva ajatus. Ison kokoluokan maaenergiajärjestelmiä ei yleensä voida mitoittaa koko huipputeholla ja tällöin huipputeho on tuotettava toisella rinnakkaisella järjestelmällä. Energialaitosten nykysuhtautuminen maaenergiajärjestelmän huipputehon tuottamisesta kaukolämmöllä on negatiivissävytteinen, sillä energialaitos menettää rahaa, kun 90 % energiasta tuotetaan maaenergialla ja vain 10 % energiasta tuotetaan

kaukolämmöllä huipputehon tarpeen aikaan. Jos tällaiset hankkeet sen sijaan tehtäisiin yhteistyössä, siten että energialaitos investoi maaenergialaitokseen ja myy halvempaa uusiutuvaa energiaa kiinteistöomistajalle, molemmat osapuolet vähentäisivät päästöjään.

Vuoteen 2017 mennessä ei ole kertynyt merkittävästi kokemuksia Suomessa jo toteutetuista energiayhtiön ja kiinteistöomistajan välisistä uusiutuvan lähien energian hankkeista, joita olisi toteutettu olemassa oleviin kiinteistöihin. Jonkin verran on toteutettu hukkalämmön talteenottoja paikalliseen kaukolämpöverkkoon jo olemassa olevissa kiinteistöissä, joissa on suuria lämpökuormia, kuten sairaaloissa ja datakeskuksissa. Tästä yhtenä esimerkkinä Fortumin ja datakeskuksen yhteistyö Kirkkonummella, jossa konesalien jäähdytys toteutetaan kaukojäähdytyksellä ja kiinteistön hukkaenergia otetaan talteen jäähdytysveteen ja siirretään lämpöpumppujen kautta Fortumin kaukolämpöverkkoon. (Granlund Oy 2017)

Osa energiayhtiöistä on kuitenkin kehittämässä uusien asuinalueiden uudenlaisia energiaratkaisuja. Yhtenä esimerkkinä tästä on Turussa rakentuva Skanssin asuinalue. Turku Energia selvittää mahdollisuuksia rakentaa Skanssin alueelle kaksisuuntaista kaukolämpöä, jossa kiinteistönomistaja voi myydä kohdekohtaisesti tuotettua lämpöä matalalämpötilaiseen kaukolämpöverkkoon, kun siitä on ylituotantoa ja ostaa kaukolämpöä verkosta, kun oma tuotanto ei riitä. (Lyytikäinen 2015) Vaasassa vanhan linja-autoaseman tilalle suunnitellaan monitoimikorttelia, jossa hyödynnetään maalämpöä, aurinkolämpöä, aurinkosähköä sekä absorptiojäähdytystä ja kulutuksessa huomioidaan kysyntäjousto. Wasa Station-hankkeessa on mukana myös Vaasan paikallinen energiayhtiö. Hankkeessa on valmisteltu järjestelmää hallinnoivan energiayhtiön toimintamalli. (Energiakokeilut 2017)

Kilpailu lämmitysmarkkinoilla kiihtyy ja perinteiset kaukolämpöyhtiöt joutuvat etsimään uusia liiketoimintamalleja pitääkseen toimintansa kannattavana. Kaukolämpöyhtiöiden on valittava roolinsa, kun kaukolämmön kysyntä laskee ja hajautettuun uusiutuvan energiatuotantoon perustuvat järjestelmät yleistyvät.



## 4 Työssä tutkittavien uusiutuvan energian tekniikoiden esittely

Tässä diplomityössä tutkitaan kolmen uusiutuvan energian tekniikan soveltuvuutta SYK:n olemassa oleville kampuksille. Työssä tutkittavat uusiutuvan energian tuottamisen muodot ovat maalämpöpumppu, vesistölämpöpumppu ja aurinkosähköpaneelit ja ne on esitelty tässä kappaleessa. Tekniikoiden esittely on tarkoituksella rajattu varsin suppeaksi työn muu laajuus huomioiden. Kaikkien tekniikoiden sovellusten esittelyssä on huomioitu kohteiden suuri energiankulutus.

Tässä kappaleessa tutkitaan uusiutuvan energian teknologioiden käyttöönottoa olemassa olevissa rakennuksissa, joten jokaisen esitellyn tekniikan lisäksi pohditaan sen käyttöönottomahdollisuuksia jo olemassa olevissa kiinteistöissä ja listataan lähtökohdat, joista niiden soveltuvuutta SYK:n kampuksille lähdetään selvittämään.

### 4.1 Maalämpöpumppu ison mittakaavan kohteissa

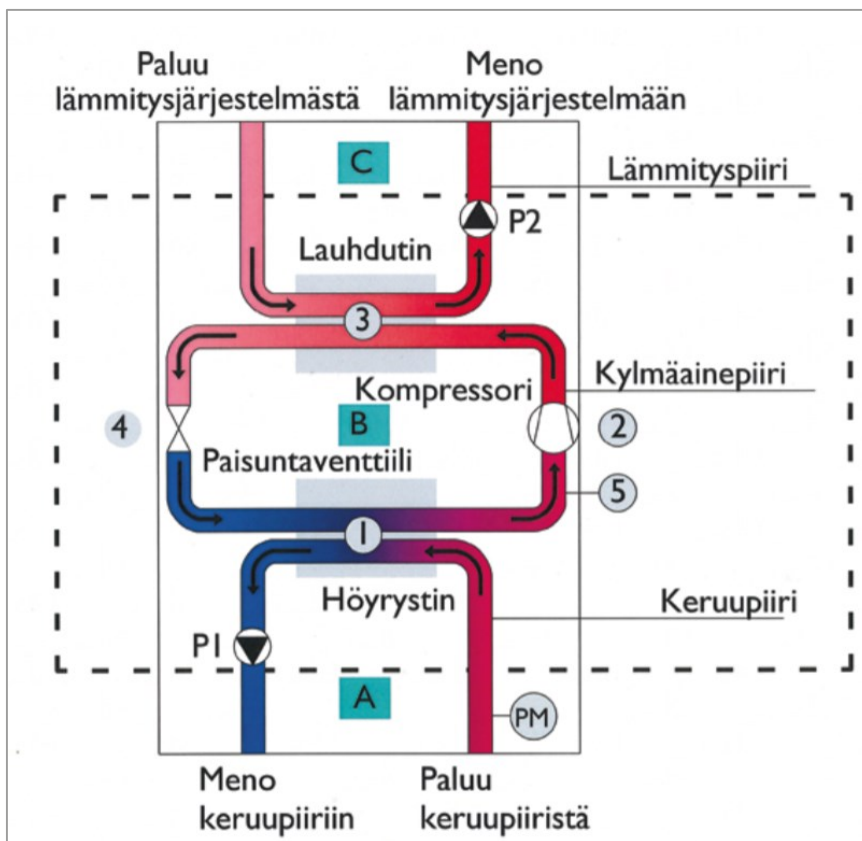
Maalämpöpumput pientaloissa ovat yleistyneet 2000-luvulla huomasti ja niillä korvataan öljy- ja sähkölämmityksiä sekä maalämpöpumppuja asennetaan myös uudisrakennuksiin. Suomen lämpöpumppuyhdistyksen SULPU:n mukaan lämpöpumppujen määrä on kasvanut noin 60 000 asennuksella vuosittain ja lämpöpumppujen määrä on 25-kertaistunut vuodesta 2000 vuoteen 2013. (SULPU ry 2014) Tänä päivänä maalämpöpumput yleistyvät pientalojen lisäksi myös niin sanotuissa suurkohteissa, kuten kauppakeskuksissa, logistiikkakeskuksissa, sairaaloissa ja kerrostaloissa. (Lauttamäki ja Kallio 2013)

Adven Oy toteuttaa tämän diplomityön kirjoitushetkellä Citycon Oy:n Espoossa sijaitsevan kauppakeskuksen Lippulaivan maalämpölaitosta, joka tulee valmistuttuaan olemaan tietävästi maailman suurin liiketilakeskukseen rakennettu geoenergiaratkaisu 170 kaivollaan. Laitos tuottaa 90 % kiinteistössä tarvittavasta lämpö- ja jäähdytysenergiasta. Suhteessa kaukolämmöllä ja sähköllä tuotettuun jäähdytykseen verrattuna kauppakeskuksen hiilijalanjälki pienenee 945 %. (Heikkonen 2017a)

#### 4.1.1 Maalämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppujen toiminta perustuu suljettuun kylmäaineen kiertoprosessiin, jossa tapahtuu kylmäaineen faasimuutoksia. Kylmäaineessa tapahtuu faasimuutoksia, kun se vuorotellen höyrystyy höyrystimessä sitoen lämpöä ja lauhtuu nesteeksi lauhduttimessa luovuttaen lämpöä. Höyrystimen ja lauhduttimen välissä on kompressor, jolla nostetaan kylmäaineen paine ennen sen ohjaamista lauhduttimeen. Kylmäaineen höyrystimessä sitoma lämpö on huomattavasti suurempi kuin kompressorin vaatima työ. Toimintaperiaate on esitetty alla olevassa kuvassa 5. (Seppänen 2001, 377)

Höyrystimessä energia siirtyy lämmönkeruupiiristä lämpöpumpun kylmäainepiiriin. Lämmönkeruupiiri koostuu putkista, joissa maalämpöpumpun lämmönkeruuneste kierrätetään. Lämmönkeruuneste koostuu yleensä veden ja alkoholin seoksesta, joka takaa sen, ettei se jäädy alhaisissa lämpötiloissa. (Juvonen & Lapinlampi 2013)



Kuva 5. Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate (Juvonen & Lapinlampi 2013)

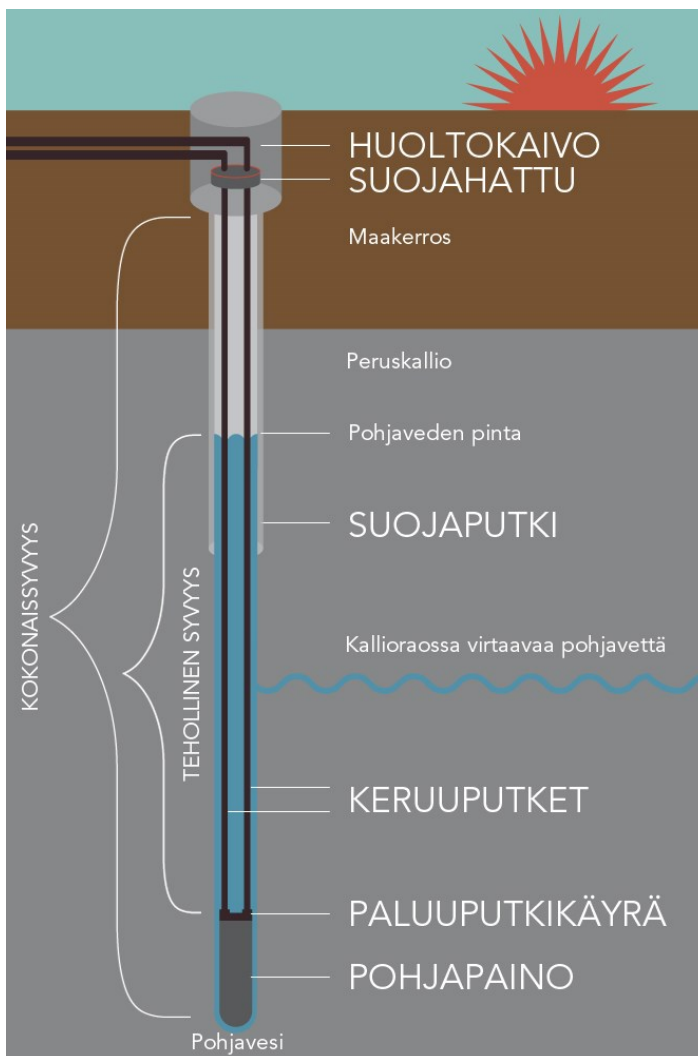
Lämpöpumpun kompressori ja muut apulaitteet tarvitsevat toimiakseen sähköä. Lämpöpumpun tehokkuutta kuvataan lämpökertoimella COP (Coefficient Of Performance). Lämpökertoimen kertoo kuinka paljon lämpöpumpulla voidaan tuottaa lämpöä sen käyttämään sähköenergiaan verrattuna. COP kerroin lasketaan lämmönkeruu- ja lämmönluovutuslämpötilojen suhteena. Hyvänä COP kertoimena voidaan pitää lukua 3 ja sen ylittäviä lukuja. Tällöin lauhduttimesta vapautuva lämpöenergia on kolme kertaa suurempi kuin kompressorin ja apulaitteiden tarvitsema sähköenergia. Yleensä lämpöpumpun tehokkuutta kuitenkin kuvataan SCOP-luvulla (Seasonal Coefficient of Performance), joka kertoo lämpöpumpun hyötysuhteen todennukaisemmin, koska se huomioi koko lämmityskauden ja sähkölaitteiden hyötysuhteet. (Seppänen 2001) (SFS-EN-14825 2012)

Maalämpöpumpun tapauksessa lämmönkeruu tapahtuu joko kallioon porattujen energiakaivojen tai maapiirin kautta. Energiakaivo ja maapiiri on esitetty kuvassa 6. Maapiirissä energia kerätään maaperän pintaosiin asennettavan keruuputkiston avulla ja maaperän pintalämpötilalla on suuri merkitys maalämmön kannattavuuteen. Maapiirin vaatima pinta-ala on noin  $1,5 \text{ m}^2$  keruuputkiston putkimetriä kohden. Keruuputkiston pituus omakotitalossa on lyhimmillään 500 metriä. Isoissa yliopistokiinteistöissä energiankulutus on moninkertainen omakotitaloon verrattuna ja tarvittava pinta-ala maapiiriä varten olisi valtava. Tästä syystä maapiiri tarkastelu rajataan tämän diplomityön ulkopuolelle. (Juvonen & Lapinlampi 2013)



Kuva 6. Energiakaivo ja maapiiri (Thermia 2016)

Kallioperästä energiaa kerättäessä puhutaan energiakaivoista tai lämpökaivoista. Kuvassa 7 on esitetty yksittäisen energiakaivon rakenne. Energiakaivo koostuu halkaisijaltaan 115–165 mm porakaivosta ja sen sisään asennettavasta keruuputkistosta, jossa lämmönkeruuliuos kiertää nostaen kallioperään sitoutunutta lämpöä lämpöpumpulle. Energiakaivojen syvyys on tavallisesti alle 300 metriä. (Juvonen & Lapinlampi 2013) Useamman energiakaivon yhdistelmästä käytetään yleisesti nimitystä energiakenttä tai geoenergiakenttä.



Kuva 7. Energiakaivon rakenne (Rototec 2017)

Lämpöpumppujärjestelmän mitoitusta varten kohteen energiantarve tulee olla tiedossa tuntitasolla. Suurkohteissa lämpöpumput ovat usein täydentäviä järjestelmiä rakennusten lämmitysjärjestelmissä ja investointikulujen pienentämiseksi niitä ei mitoiteta maksimiteholle. Osatehomitoituksessa noin 70–90 %:lla maksimilämmitystehosta tuotetaan maalämmöllä ja loput esimerkiksi sähkökattilalla. Tässä tapauksessa maalämmöllä katetaan kuitenkin vielä 90–98 % kokonaisenergiantarpeesta, joten sähkökattilalla tuotetaan vain 2–10 % kokonaisenergiantarpeesta. Maalämmöllä katettavan tehon osuus voi olla huomattavasti alhaisempi kuin niin kutsutussa hybridimitoituksessa, jossa maalämpöpumppujärjestelmällä katetaan vain 25–60 % kokonaisenergiantarpeesta ja loput energiasta tuotetaan muulla tavalla, yleisimmin kaukolämmöllä. Hybridimitoitukseen päädytään yleensä, kun tontilla ei ole tilaa monille energiakaivoille tai kun ei haluta tehdä suurta alkuinvestointia. Hybridimitoituksella saavutetut kustannussäästöt jäävät kuitenkin osatehomitoitusta pienemmiksi ja sen vaikutus päästövähennykseen riippuu merkittävästi valitusta rinnakkaisesta järjestelmästä. Rinnakkaisena lämmitysjärjestelmänä voidaan sähkökattilan ja kaukolämmön lisäksi käyttää myös kohteen energiantarpeesta riippuen puulla tai öljyllä toimivaa lämmitysjärjestelmää. (RIL 2014)(Niemelä & Sevelius 2017)

Maalämpöpumppujen yleistyessä paljon energiaa kuluttavissa kiinteistöissä, rajoittavaksi tekijäksi maalämmön käyttöönotolle tulee usein tontin koko ja sille mahtuvien energiakaivojen lukumäärä. Tähän ovat vastanneet muutamat kaivojen porausliikkeet, joiden kalusto on kehittynyt siten, että niillä päästään jopa yhden kilometrin syvyyksiin. Mitä syvempiä rei'istä voidaan tehdä, sitä vähemmän kaivoja tarvitaan ja niiden tarvitsema tonttiala vähenee. Tämä tuo helpotusta esimerkiksi jo olemassa oleville rakennuksille, joissa tontit ovat jo tiiviisti rakennettu täyteen ja ylimääräistä tilaa ei ole.

#### 4.1.2 Geoenergiapotentiaalin määrittäminen

Geoenergia on uusiutuvaa kallioperään, maaperään ja vesistöihin sitoutunutta aurinkoenergiaa. Suomessa geoenergian hyödyntämiseen lämmityksessä tarvitaan lämpöpumppuja maaperän ja kallioperän keskilämpötilan alhaisuudesta johtuen. (GTK. 2017) Tässä työssä tarkastellaan maalämpöpumppuja, joissa energia kerätään syvien porakaivojen kautta ja geoenergiapotentiaalia lähestytään tästä näkökulmasta. Vesistöä lämmönlähteenä käsitellään myöhemmin tässä työssä luvussa 4.2

Geoenergian käyttöönoton ehdoton edellytys on, että kiinteistön välittömässä läheisyydessä ja käytössä on energian keräämiseen soveltuva maa-alue, sillä 200–300 metriä suuremmat siirtoetäisyydet eivät ole suotuisia matalilla lämpötiloilla tapahtuvalle lämmönsiirrolle. (Lauttamäki & Kallio 2013) Tämän lisäksi geoenergian saatavuuteen ja kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat kallioperän lämmönjohtavuus, maanpinnan keskilämpötila, maapitteen paksuus kallion päällä ja pohjaveden liikkeet.

Kallioperän lämmönjohtavuuden arvo kertoo sen, kuinka paljon lämpöä kalliosta voidaan ottaa tai kuinka paljon sinne voidaan viilennyksellä syöttää tai ladata. Kallioperän lämmönjohtavuus vaihtelee kivilajien välillä riippuen useista eri tekijöistä, kuten mineraalikoostumuksesta, tekstuurstusta, lämpötilasta ja huokoisuuden sisältämästä kosteuspitoisuudesta. Geologian tutkimuskeskus on tehnyt vuosien 1964–1994 välillä kattavan otoksen lämmönjohtavuusmittauksia Suomessa. Tavallisten kivilajien päämineraalien lämmönjohtavuus on yleensä välillä 2–7 W/mK. (Peltoniemi & Kukkonen 1995) Esimerkiksi Graniitin lämmönjohtavuus on keskimäärin 3,55 W/mK. Suomen keskimääräinen kallioperän lämmönjohtavuus vaihtelee yleisesti 2–4 W/mK välillä ollen keskiarvoltaan noin 3,24 W/mK. (Wennerström et al. 2014)

Geologian tutkimuskeskuksen Keski-Suomen geoenergiapotentiaalin raportissa on havainnollistettu hyvin lämmönjohtavuuden merkitystä kaivon syvyyteen ja sitä kautta investointikustannuksiin. Raportissa Keski-Suomen kivilajit on luokiteltu niiden lämmönjohtavuuden perusteella viiteen luokkaan heikosta erittäin hyvään. Taulukossa 3 on esitetty kuvitteellinen teollisuuskiinteistö, jonka energiankulutus on vuodessa 800 MWh ja sen kattamiseksi porattavat 32 energiakaivoa. Mikäli alueen kivilaji on graniitti, jonka lämmönjohtavuus on tässä taulukossa 3,35 W/mK, on kaivojen aktiivisyvyys yhteensä 7 456 metriä. Saman energiamäärän saamiseksi energiakaivoista, kaivot joudutaan poraamaan syvemmiksi, mikäli kallioperän lämmönjohtavuus on pienempi. Jos alueen kivilaji olisikin dioriitti, jonka lämmönjohtavuus on 2,3 W/mK, tulisi kaivojen aktiivisyvyyden olla yhteensä 9 152 metriä. Aktiivisyvyysien erotus on heikoimman ja parhaimman kivilajin välillä 1 696 metriä, joka raportissa käytetyllä porauskustannuksella, 30 €/m, tekee kaivojen investointikustannuksiin eroa 50 880 €. Kustannusero on noin 22 % kaivojen kokonaisinvestointikustannuksista, 223 680 €, mikäli alueen kivilaji olisi graniittia. (Huusko et al. 2015)

*Taulukko 3. Kivilajien lämmönjohtavuuden merkitys porauskustannuksiin erikokoisissa kiinteistöissä. (Huusko et al. 2015)*

Geoenergiapotentiaali	Kivilaji	Lämmönjohtavuus [W/(m·K)]	Kaivon aktiivisyvyys [m]	Kaivojen aktiivinen yhteisyvyys [m]	Kustannusvaikutus
"Omakotitalo", 25 MWh/a					
Kiitettävä	Graniitti	3.35	185	185	45 m * 30 €/m = 1350 €
Hyvä	Grauvakkaliuske	2.9	203	203	
Keskinkertainen	Kvartsidioriitti	2.7	208	208	
Kohtalainen	Amfiboliitti	2.5	220	220	
Heikko	Dioriitti	2.3	230	230	
			erotus = 45 m		
"Rivitalo", 250 MWh/a: 10 kaivoa, kaivojen välinen etäisyys 15 m					
Kiitettävä	Graniitti	3.35	234	2340	540 m * 30 €/m = 16 200 €
Hyvä	Grauvakkaliuske	2.9	254	2540	
Keskinkertainen	Kvartsidioriitti	2.7	263	2630	
Kohtalainen	Amfiboliitti	2.5	274	2740	
Heikko	Dioriitti	2.3	288	2880	
			erotus = 54m	erotus = 540m	
"Teollisuuskiinteistö", 800 MWh/a: 32 kaivoa, kaivojen välinen etäisyys 19 m					
Kiitettävä	Graniitti	3.35	233	7456	1696 m * 30 €/m = 50 880 €
Hyvä	Grauvakkaliuske	2.9	252	8064	
Keskinkertainen	Kvartsidioriitti	2.7	262	8384	
Kohtalainen	Amfiboliitti	2.5	273	8736	
Heikko	Dioriitti	2.3	286	9152	
			erotus = 53m	erotus = 1696 m	

<sup>1</sup> Energiakaivon porauskustannukset on arvioitu vuoden 2014 yleisen hintatason mukaan.

Kivilajin lämmönjohtavuus vaikuttaa siis oleellisesti energiakaivojen tarvittavaan aktiivisyvyyteen ja siten myös tarvittavien energiakaivojen määrään. Energiakaivojen ominai-

suuksia voidaan testata termisellä vastetestillä (TRT-mittaus). TRT-mittaus kertoo tarkemmin yksittäisen energiakaivon geoenergiapotentiaalin. Sen avulla saatetaan tietoon kyseisen kaivon tehollinen lämmönjohtavuus kaivon läheisyydessä, kaivon keskimääräinen lämpövastus ja kaivon lämpötila syvyyden funktiona. Tehollinen lämmönjohtavuus kertoo kallioperän lämmönjohtavuudesta ja mahdollisesta pohjaveden virtauksesta. Lämpövastus taas kuvaa kaivon täyteaineen (pohjavesi) energiansiirto-ominaisuutta. Mitä pienempi lämpövastus on, sitä paremmin kallioperän lämpö siirtyy keruunesteeseen ja lämpö saadaan hyödynnettyä. Mikäli pohjaveden virtaus putkessa on turbulenttista, pienenee lämpövastus entisestään ja parantaa lämmönsiirtoa. (Martinkauppi & Hakala 2013) Kuvassa 8 on GTK:n suorittaman TRT-testin välineistöä Oulussa.



Kuva 8. TRT-mittaus käynnissä Oulussa (Martinkauppi & Hakala 2013))

Geoenergiapotentiaaliin ja porauskustannuksiin vaikuttaa oleellisesti kivilajin lämmönjohtavuuden lisäksi maapeitteen paksuus. Maapeitteen paksuus vaikuttaa maalämpöpumpun kannattavuuteen kahde

lla tavalla. Energiakaivon yläosaan eli maaperäosaan asennetaan muovinen tai teräksinen suojaputki, joka estää irtoaineksen pääsyn energiakaivoon ja sitä kautta pohjaveteen. Maaporauksen ja suojaputken asennukset voivat nostaa porauskuluja merkittävästi, jos maapeitepaksuus ylittää 10- 20 metriä. Erään porausliikkeen mukaan maaporaus on kallioporausta kaksi kertaa kalliimpaa metriltä. Toinen syy porauskustannuksien kasvuun selittyy maalajien lämmönjohtavuudella, joka on selkeästi kivilajeja heikompi. Maalajien lämmönjohtavuus voidaan karkeasti sanoa olevan vain noin puolet kivilajien lämmönjohtavuudesta. Tästä syystä, kun maapeitepaksuus on kymmeniä metrejä, joudutaan kaivoja syventämään porausvaiheessa alkuperäisiin suunnitelmiin nähden, jotta tarvittava energia saadaan. (Leppäharju et al. 2016)

#### 4.1.3 Maalämpöpotentiaalin määrittäminen tässä työssä

Maalämmön käyttöönottopotentiaaliin olemassa olevissa kiinteistöissä vaikuttaa muukin kuin alueen geoenergiapotentiaali. Tässä kappaleessa on esitelty myöhemmin tutkimusosuudessa tarkasteltavat potentiaalin määrittävät tekijät.



Harkittaessa maalämpöä lämmitysmuotona, tulee ottaa energiakentäksi kaavaillun alueen kallioperään liittyvät kaavarasitukset ja maanalaiset suunnitelmat huomioon. Tiheästi rakennetuilla kaupunkialueilla tulee huomioida mahdolliset luolat, tunnelit ja kunnallisverkostot. (Lauttamäki & Kallio 2013)

Maanalaisten rakennelmien lisäksi tulee ottaa huomioon ympäristön erityisvaatimukset, joita ovat mahdollinen pohjavesialue tai pilaantunut maa. Geoenergiakentän sijoittamisessa pohjavesialueille ei ole teknisessä mielessä mitään estettä, eikä pohjavesialue vähennä geoenergiapotentiaalia, mutta energiakaivojen poraaminen pohjavesialueella vaatii usein luvan paikalliselta ELY-keskukselta. Osa ELY-keskuksista on ottanut kannan, että useamman energiakaivon kenttiä ei suositella sijoitettavaksi pohjavesialueelle. Näissä tapauksissa ELY-keskus katsoo, että hanke vaatii maankäyttö- ja rakennuslain 62§:n mukaisen toimipidelyn lisäksi aluehallintoviraston myöntämän vesilain mukaisen luvan, koska geoenergiakenttä saattaa aiheuttaa muutoksia pohjaveden korkeudelle ja laadulle. (RIL 2014) Putkirikon sattuessa energiakaivossa, voi keruupiirissä kiertävä neste päästä leviämään laajalle pohjavesialueelle. Tässä diplomityössä pohjavesialueella sijaitsevat kampukset rajataan maalämpöpotentiaalin ulkopuolella niiden lupakäytäntöjen haastavuuden takia.

Geoenergiakenttä tarvitsee vapaata pinta-alaa tontilla ja on usein maalämmön käyttöönoton rajoittava tekijä suurissa kiinteistöissä, joissa tarvitaan useita energiakaivoja. Kun energiakaivoja tarvitaan kymmeniä tai satoja, niiden sijoittelulla on suuri merkitys, jotta ne saadaan tarpeeksi kauas toisistaan. Joissain tapauksissa pinta-alatarvetta voidaan pienentää poraamalla vinoreikiä. Uudisrakennusten tapauksessa, energiakaivoja voidaan jopa sijoittaa rakennuksen alle rakennusvaiheessa. Niiden huollettavuuden tarve kuitenkin aiheuttaa eriäviä mielipiteitä asiantuntijoilla. Energiakaivoja voidaan sijoittaa rakennuksen ympärille, tontin viheralueille ja parkkipaikkojen alle taulukossa 4 esitetyt minimietäisyydet huomioiden. Energiakaivoja ei suositella sijoitettavaksi esimerkiksi huoltoteille, joilla kulkee raskasta liikennettä. Kaivojen sijoittelussa tontilla on otettava huomioon porakaivojen minimietäisyys toisistaan, jotta geoenergiakenttä ei jäädy pitkällä aikavälillä. Useamman kaivon geoenergiakentät tulisi aina simuloida ja täten varmistaa, ettei maa pääse jäähtymään maalämpöjärjestelmän elinkaaren aikana.

*Taulukko 4. Energiakaivon suositeltavat minimietäisyydet eri kohteisiin. (Juvonen et al. 2013)*

Kohde	Suositteltu minimietäisyys
Energiakaivo	15 m *
Lämpöputket ja kaukolämpöputket	3 m **
Kallioporakaivo	40 m
Rengaskaivo	20 m
Rakennus	3 m
Kiinteistön raja	7,5 m
Kiinteistökohtaisen jätevedenpuhdistamon purkupaikka	Kaikki jätevedet 30 m, Harmaat vedet 20 m
Viemärit ja vesijohdot	3 m (omat)-5 m (muiden) **
Tunnelit ja luolat	25 m, etäisyys selvitetään tapauskohtaisesti

\* porareian ollessa pystysuora

\*\* etäisyys riippuu maaperän laadusta, kaivussyvyydestä ja kaivantoon sijoitettavista putkista

Rakennuksen lämmönjaon lämpötilataso vaikuttaa myös merkittävästi maalämmön hyödyntämisen potentiaaliin. Mitä korkeampi on lämmitysverkoston menoveden lämpötila, sitä korkeampaan paineeseen kompressori nostaa kylmäaineen, ja sitä enemmän se kuluttaa sähköenergiaa ja lämpöpumpun COP-arvo pienenee. Yleiset lämpötilat vanhempien kaukoläm-

möllä lämpiävien kiinteistöjen patteriverkostoissa ovat 80/60 °C ja ilmanvaihdon lämmitysverkostoissa 70/40 °C. Kun vanhaan patteriverkostoon liitetään maalämpöjärjestelmä, tulisi tarkastella mahdollisuutta alentaa verkoston maksimilämpötilaa 65 °C asteeseen. Potentiaalisimpia kohteita kuitenkin ovat kiinteistöt, joissa on matalaenergiapatterit tai lattialämmitys. Kiinteistön patterien uusiminen ei kuitenkaan yleensä ole kustannustehokasta ja niiden takaisinmaksuaika ylittää patterien iän. (Niemelä & Sevelius 2017)

Lämpöpumpun käyttö lämmityksessä on sitä edullisempaa, mitä alemmaa lämpötilatasoa sillä voidaan tuottaa. Tästä syystä nykyiset matalalämpöjärjestelmät ovat kaikkein optimaalisimpia käyttökohteita lämpöpumpulle. (Juvonen & Lapinlampi 2013)

Maalämpöjärjestelmän toteuttaminen olemassa olevaan rakennukseen tehdään yleensä laajan peruskorjauksen yhteydessä tai nykyisten lämmöntuottolaitteiden uusimisen yhteydessä (tähän lähde). Tästä syystä kampusten pitkän tähtäimen suunnitelmia (PTS) käytetään potentiaalikartoituksen apuna. Tässä diplomityössä on tarkoitus löytää uusiutuvalla energialla aikaansaatava suurin vaikuttavuus SYK koko kiinteistösalkun energiankulutuksen hiilidioksidipäästöihin.

Maaperän, alueen ja kiinteistön ominaisuuksien lisäksi maalämmön potentiaalin ja nimenomaan kannattavuuteen olemassa olevissa rakennuksissa vaikuttaa olennaisesti nykyisen lämmitysmuodon energiakustannukset. Yleensä isoimmat kiinteistöt kaupunkikeskuksissa lämpiävät Suomessa kaukolämmöllä. Kaukolämmön energiahinta vaihtelee kaukolämpöyhtiöiden välillä reilusti. Energiateollisuus tuottaa puolivuositain hintatilastoa, jossa on laskettu tyyppirakennuksille kaukolämmön hinta per megawattitunti. Tilaston mukaan 80 asunnon kerrostalo tyyppirakennuksen kaukolämpöenergian hinta sisältäen energia- ja tehomaksun vaihtelee kaukolämpöyhtiöittäin välillä 42 - 94 €/MWh alv 0 %. Pelkkä energiamaksu huomioiden hinta vaihtelee välillä 38–83 €/MWh alv 0 % (Energiateollisuus 2017b)

Ylempänä esitettyjen teknistaloudellisten potentiaalirajoitteiden lisäksi tässä diplomityössä halutaan erityisesti tarkastella maalämmön potentiaalia lämmityksen energiankulutuksen päästövaikutuksen näkökulmasta. Mitä korkeampi päästökerroin nykyisellä lämmitysmuodolla on, sitä suuremmat hiilidioksidipäästöt se aiheuttaa ja sitä isompi vaikutus päästöihin on maalämpöjärjestelmän käyttöön otolla.

## **4.2 Vesistölämpöpumppu ison mittakaavan kohteissa**

Vesistölämpöpumppu on maalämpöpumppu, jonka lämmönkeruupiiri on asennettu vesistöön. Vesistöjen käyttäminen lämpöpumpun lämmönkeruutapana ei ole Suomessa vielä noussut yhtä yleiseksi tavaksi kuin lämmön hyödyntäminen kallioperästä tai maapiiristä. Motivan mukaan noin 5 % maalämmön lämmönkeruuputkistoista asennetaan veteen. (Motiva 2017a)

Vesistölämmön käytetyimmät lämmönlähteet ovat järvi- ja merivesi. Vuonna 2015 alkunsa saaneessa ATES hankkeessa on tutkittu myös pohjaveden käyttöä lämmönlähteenä. Hankkeessa on tutkittu Lahden alueella pohjaveden käyttöä lämmönlähteenä lämpöpumpulle. Lahden alueella pohjaveden lämpötila on paikoitellen niinkin korkea kuin 9-11 °C. Pohjavesienergian hyödyntäminen pienentäisi investointikustannuksia muihin geoenergiavaihtoehtoihin verrattuna, mutta sen käyttökohteet ovat rajallisia ja suunnitteluvaiheen kustannukset olisivat korkeammat. Tutkimuksen tulokset ovat lupaavia ja Geologian tutkimuskeskuksen johtavan asiantuntijan suosittelee täysimittaista pilottikohdetta. (Heikkonen 2017)



Tässä kappaleessa esitellään käytössä olevat vesistöä lämmönlähteenä käytettävät lämpöpumppusovellukset. Kappaleessa esitellään ensin niin sanottu perinteinen putkilenkkiratkaisu, jossa keruutapana on vesistöpiiri, ja tämän jälkeen kiinteistömarkkinoille vastikään saapunut vesistövaihdinratkaisu. Vesistöasennuksen maalämpöä vähäisemmän toteutusfrekvenssin takia, tässä kappaleessa esitellään muutamia esimerkkikohteita. Viimeisessä kappaleessa kuvataan vesistölämpöpumpun käyttöpotentiaaliin vaikuttavat tekijät tässä diplomityössä.

#### 4.2.1 Vesistöpiiriratkaisu

Vesistölämpöjärjestelmän toteuttaminen on mahdollista, kun kiinteistö sijaitsee tarpeeksi lähellä soveltuvaa vesistöä, esimerkiksi merta, järveä tai jokea. Putkiston lämpöhäviöiden pitämiseksi kohtuullisena, vesistön ja lämmitettävän kiinteistön etäisyyden ei tule olla yli 500 metriä.

Vesistölämpöpumpun sovellutuksista yleisimmin käytössä oleva tekniikka on vastaava kuin maapiireillä, niin kutsuttu putkilenkkiratkaisu, jossa lämmönkeruuputkisto asennetaan lähi-alueen vesistön pohjaan, joko kaivamalla se pohjan pintakerrokseen tai upottamalla putkisto painojen avulla vesistön pohjaan. Putkilenkkiratkaisu on esitetty kuvassa 9. Vaikka vesistön pinta jäätyy talvella, vesistön pohjalla lämpötila pysyy plussan puolella, kunhan vesistö on riittävän syvä. Syvyyden tulee olla vähintään 2 metriä, virtaavassa joessa jopa enemmän. Suunnitteluvaiheessa tulee varmistaa, että veden lämpötila putkien ympärillä ei koskaan laske alle  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Veden ominaispaine on suurimmillaan  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ :ssa, joten pohjassa oleva vesi on lähellä tätä lämpötilaa. Putkistoa ei tulisi asentaa virtaavan veteen tai laivareitille, joka voi sekoittaa veden kerrostuneisuutta ja johtaa siihen, että putkisto pääsee jäätymään ja saattaa nousta pintaan. Putkistojen asentaminen vesistön pohjaan estää ankkuroinnin alueella ja saattaa vaikeuttaa kalastusta. Ruoppaaminen ei myöskään ole mahdollista pohja-alueella, jolle on asetettu putkilenkkejä. Putkien sijainti tulee aina merkitä rannalle ankkuroinnin kieltevien kylttien avulla. (Takala 2014, Juvonen & Lapinlampi 2013)

Putkiston vesistöasennus vaatii aina hyväksynnän vesistön haltijalta, naapureilta ja aluehallintovirastolta. Toimenpidelupa ei korvaa vesilain mukaista lupaa, mikäli sellainen tarvitaan putkiston vesistöön asentamiseksi. Tarvittaessa on pyydettävä lausunto luvan tarpeesta vesilain valvontaviranomaiselta, joka on joko kunnan ympäristösuojeluviranomainen tai ELY-keskus. (Juvonen & Lapinlampi 2013)



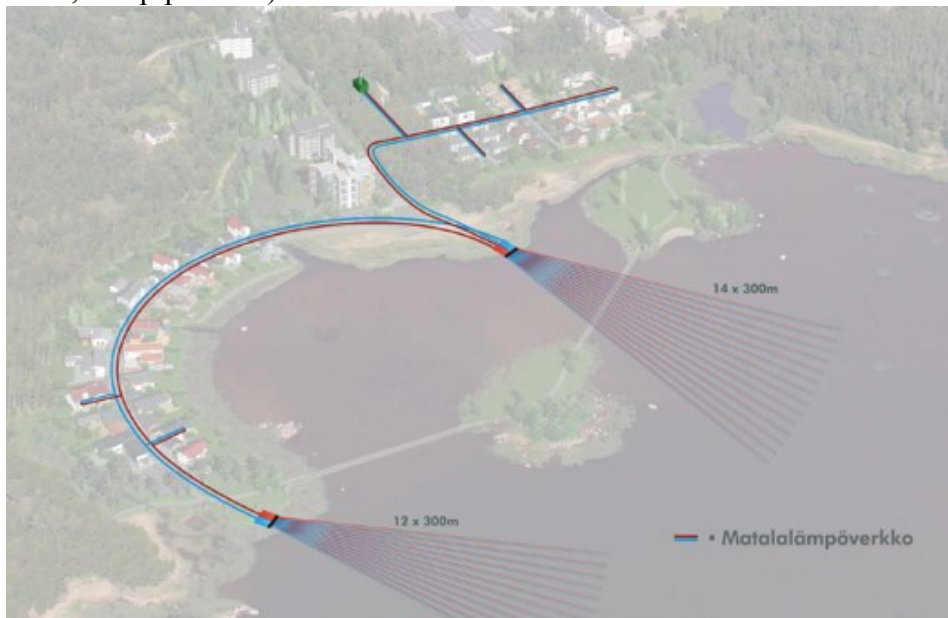
Kuva 9. Vesistöön upotettu lämmönkeruuputkisto (Thermia 2016)

Seuraavaksi esitellään Suomessa vesistöpiirillä toteutettuja vesistöä hyödyntäviä ison koko-  
luokan lämpöpumppuratkaisuja.

**Lappeenrannan Rauha** on vuoden 2012 asuntomessualue, jossa aluelämpöverkkoon tuotetaan lämpöä One 1 Oy:n hybridienergiayksiköllä. Hybridienergiayksikkö pitää sisällään 350 kW lämpöpumpun, jonka lämmönkeruupiiri on upotettu Saimaaseen. Lämmönkeruupiiri koostuu 14 kappaleesta 400–500 metrin mittaisista putkilenkeistä, joiden yhteenlaskettu pituus on 6,4 km. Putkisto on ankkuroitu pohjaan betonipainoilla. Lämpöpumpun lisäksi järjestelmään kuuluu aurinkokeräimiä ja huipputehoa on kattamassa 325 kW:n maakaasukondenssikattila.

**Kisakallion urheiluopiston** alueella vesistölämpöpumppua käytetään aluelämmön tuotantoon, jalkapallokentän lämmitykseen ja kesäisin aluejäähdytykseen. Järjestelmässä on kolme lämpöpumppua teholuokiltaan 700–900 kW ja lisälämpönä toimivat kevytöljykattilat. Lämmönkeruuputkisto on asennettu ja ankkuroitu 10 metrin syvyyteen urheiluopiston edustalla olevan vesialueen pohjaan. Putkilenkkien yhteenlaskettu pituus on noin 12 km.

**Vaasassa** vuoden 2008 asuntomessualue Suvilahdessa, lämpöä meriveden lämpöä hyödyntäen. Asuinalueella kiertää matalalämpöverkosto, johon on kytketty 48 erillisen pientalon lämpöpumput. Matalalämpöverkosto ja sen keruuputkisto on esitetty kuvassa 10. Matalalämpöverkostoon on kytketty 26 rannasta pohjasedimenttiin 3–4 metrin syvyyteen porattua putkea. Putkien yhteispituus on 7800 metriä. Suvilahden vesistölämpö ei ole perinteinen vesistöpiiriratkaisu siinä mielessä, että putkisto on porattu pohjasedimentin sisälle, jolloin se ei ole kosketuksissa meriveden kanssa eikä siitä ole haittaa ankkureille. Pohjasedimentin lämpötilataso on myös talvisin meriveden lämpötilaa korkeampi, ollen noin 7 °C. (Takala 2014, Geopipe 2017)



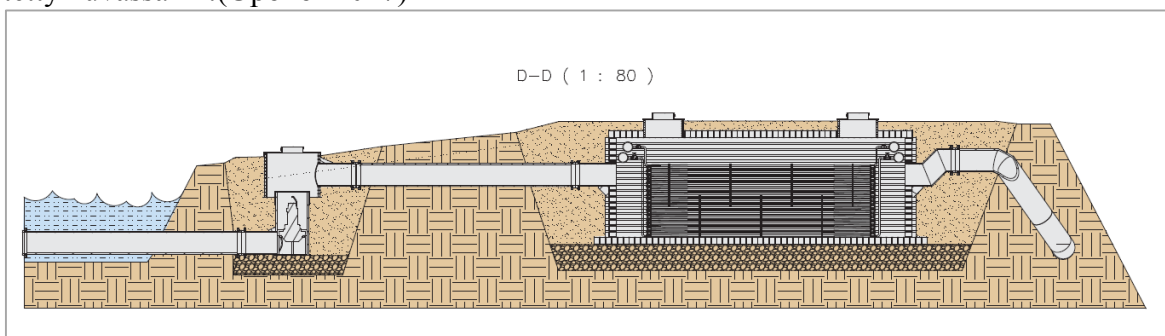
Kuva 10. Suvilahti matalalämpöverkko ja keruuputkisto (Geopipe 2017)

#### 4.2.2 Vesistövaihdiratkaisu

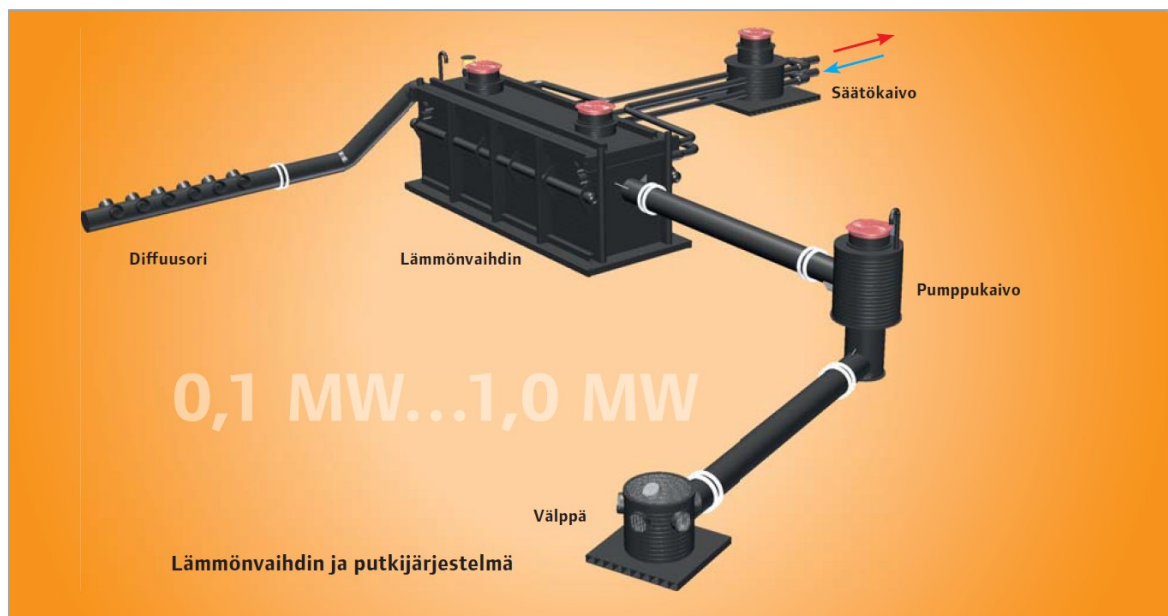
Vesistöstä voidaan ottaa lämpöä talteen myös lämmönvaihtimen avulla. Vesistölämmönvaihtimet ovat Suomessa vesistöpiiriä uudempi ja toistaiseksi harvinaisempi toteutusmuoto. Vesistölämmönvaihtimessa keruupiiri on pakattu vaihtimen sisään, joten vesistön pohjaan

ei tarvitse upottaa pitkiä putkilenkkejä. Lämmönvaihtimet soveltuvat nimenomaan suurkohteisiin, sillä ne eivät vaadi paljon tilaa vievää ja työlästä keräinputkistojen asentamista.

Yksi vesistölämmönvaihtimien valmistajista on Uponor, jonka ratkaisussa lämmönvaihdin joko kaivetaan rantaan maan sisään tai upotetaan vesistön pohjaan kuten esitetty kuvassa 11. Vettä kierrätetään kennolevyrunkoisessa lämmönvaihtimessa pumppujen avulla. Imuputki tulee viedä vähintään 4 metrin syvyyteen, jotta lämmönvaihtimella tuleva vesi on vähintään  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  asteista. Koska kyseessä on niin sanottu avoin järjestelmä, lämmönvaihtimessa kulkee koko ajan happipitoista vettä. Tästä syystä lämmönvaihdin on valmistettu muovista, jotta se on luonnollisesti korroosion kestävä. Lämmönvaihdin on avattavissa ja sitä on huollettava säännöllisesti pesemällä sen sisään likaisesta vedestä kerääntynyt irtoaines. Uponorin mukaan materiaalivalinnan ja suuren kapasiteetin ansiosta lämmönvaihdin pystyy hyödyntämään jopa  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ :sta vettä, ilman jäätymisongelmaa. Järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 12. (Uponor 2017)



Kuva 11. Uponorin vesistölämmönvaihdin kaivettuna rantaan, sivulta kuvattuna



Kuva 12. Uponorin vesistölämmönvaihdinratkaisun toimintaperiaate

Yhdellä Uponorin siirtimellä voidaan päästä 1 MW lämpötehoon ja tuottaa jopa  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$  asteista vettä. Taulukossa 5 on esimerkki käyttötilanteiden parametreja järjestelmälle. Taulukosta nähdään, että lämmönvaihtimesta saatava teho ja lämpöpumpun COP-arvo putoavat varsin alas talvimitoitustilanteessa, kun raakaveden sisääntulolämpötila on vain  $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$  astetta. Uponorin vesistölämpötoteutuksia on toistaiseksi tehty niin vähän, että niistä ei löydy referenssidataa tätä diplomityötä varten. (Uponor 2017)

Taulukko 5. Uponorin lämmönvaihtimen esimerkki käyttötilanteiden arvoja

Prosessiparametrit		Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3	Tapaus 4	Tapaus 5
<b>Hyötylämpöteho, kW</b>	<b><math>Q_L</math></b>	<b>588</b>	<b>644</b>	<b>726</b>	<b>804</b>	<b>882</b>
Lämpimän veden lämpötila sisään, °C	$T_{lv, in}$	50	50	50	50	50
Lämpimän veden lämpötila ulos, °C	$T_{lv, out}$	70	70	70	70	70
Lämpimän veden virtaus, kg/s	$m_{lv}$	7,0	7,7	8,7	9,6	10,6
Kompressorin sähkönkulutus, kW	$P_{komp}$	228	237	249	257	263
Raakavesipumpun sähkönkulutus, kW	$P_{pp}$	20	20	20	20	20
Etanolipumpun sähkönkulutus, kW	$P_{ete}$	20	20	20	20	20
<b>Suorituskerroin</b>	<b>COP</b>	<b>2,19</b>	<b>2,33</b>	<b>2,52</b>	<b>2,71</b>	<b>2,92</b>
Muovilämmönvaihtimen teho, kW	$Q_M$	360	407	477	547	620
<b>Raakaveden lämpötila sisään, °C</b>	<b><math>T_{H_2O, in}</math></b>	<b>1,21</b>	<b>5,00</b>	<b>10,00</b>	<b>14,98</b>	<b>19,92</b>
Raakaveden lämpötila ulos, °C	$T_{H_2O, out}$	0,99	4,76	9,71	14,66	19,55
Raakaveden virtaus, kg/s	$m_{H_2O}$	400	400	400	400	400
Etanolin lämpötila sisään, °C	$T_{et, in}$	-4,0	-1,0	3,0	7,0	11,0
Etanolin lämpötila ulos, °C	$T_{et, out}$	-1,7	1,8	6,3	10,8	15,2
Etanolin virtaus, kg/s	$m_{et}$	43,6	40,5	40,3	40,1	41,1

#### 4.2.3 Vesistölämpöpotentiaalin määrittäminen tässä työssä

Tässä diplomityössä tarkastellaan Uponor lämmönvaihtimen sijoittamista SYK vesistöjen lähellä oleville kampuksilla. Vesistöpiirin sijoittamista ei tarkastella.

Vesistölämpöjärjestelmä on potentiaalista toteuttaa, kun kiinteistö sijaitsee tarpeeksi lähellä soveltuvaa vesistöä, esimerkiksi merta, järveä tai jokea. Putkiston lämpöhäviöiden pitämiseksi kohtuullisena, vesistön ja lämmitettävän kiinteistön etäisyyden ei tule olla yli 500 metriä.

Uponorin vesistölämpöratkaisussa imuputki tulee viedä vähintään 4 metrin syvyyteen, joten tätä matalammat vesistöt rajataan potentiaalin ulkopuolelle. Mitä syvempi vesistö on jo rannasta, sitä potentiaalisempi se on. Mikäli lämmönvaihtimen imuputki pitää viedä rannasta kovin pitkälle, se kasvattaa investointikustannuksia. Vesistön syvyys selvitetään Navionics merikartan avulla.

Vesistölämpöpotentiaalin tarkastelussa on tärkeää huomioida sen vaatimat luvat. Putkiston vesistöasennus vaatii aina hyväksynnän vesistön haltijalta, naapureilta ja aluehallintovirastolta. Toimenpidelupa ei korvaa vesilain mukaista lupaa, mikäli sellainen tarvitaan putkiston vesistöön asentamiseksi. Tarvittaessa on pyydettävä lausunto luvan tarpeesta vesilain valvontaviranomaiselta, joka on joko kunnan ympäristösuojeluviranomainen tai ELY-keskus. (Juvonen & Lapinlampi 2013) Lupia ei huomioida tämän diplomityön yhteydessä työn laajuudesta johtuen.

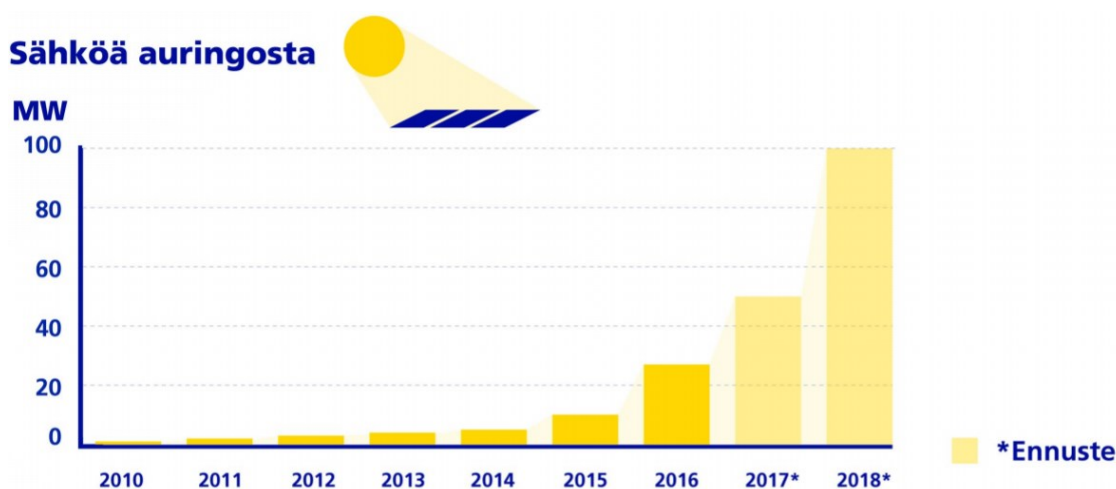
Vesistölämmön kannattavuuteen liittyy edellä esitettyjen teknisten vaatimusten lisäksi maalämmölle kappaleessa 4.1.3 esitetyt määritelmät nykyisen lämmitysenergian hinnasta ja päästökertoimesta. Kuten maalämmön kannattavuuteen, myös vesistölämmön kannattavuuteen liittyy erityisesti nykyisen energiamuodon hinta. Vesistölämmön päästöjä vähentävä potentiaali arvioidaan niin ikään samalla tavalla kuin maalämmölle, eli selvittämällä nykyisen lämmitysmuodon päästökerroin.



### 4.3 Aurinkosähköjärjestelmä ison mittakaavan kohteessa

Sähkön tuottaminen aurinkoenergialla on viime vuosina lisääntynyt niin maailmalla kuin Suomessa. Italia, Saksa ja Kreikka tuottivat vuonna 2015 yli 7 % kokonaissähkötarpeestaan aurinkosähköpaneelilla. Aurinkosähkön globaalin asennuskannan vuoden 2015 lopulla arvioitiin olevan 227,1 GW huipputehoa, joka vastaa noin 1,3 % maailmanlaajuisesta sähkökulutuksesta. (IEA PVPS 2016)

Aurinkosähkön rooli Suomessa on vielä marginaalinen, mutta sen odotetaan yleistyvän lähivuosina runsaasti. Suomessa markkinoiden kasvu käynnistyi vuonna 2014, kun aurinkoenergiasta tuli kannattavaa globaalien hintojen laskun myötä. Investointeja aurinkosähköjärjestelmiin ei juurikaan tehty ennen vuotta 2010 ja kasvuun markkinat nousivat Suomessa vasta vuonna 2015. (Auvinen et al. 2016)( IEA PVPS 2016) Vuonna 2016 Suomen yhteenlaskettu verkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti oli 27 MW ja ennusteen mukaan vuonna 2017 kapasiteetti nousee 50 MW tasolle, kuten kuvasta 13 nähdään.(ERA 2017)



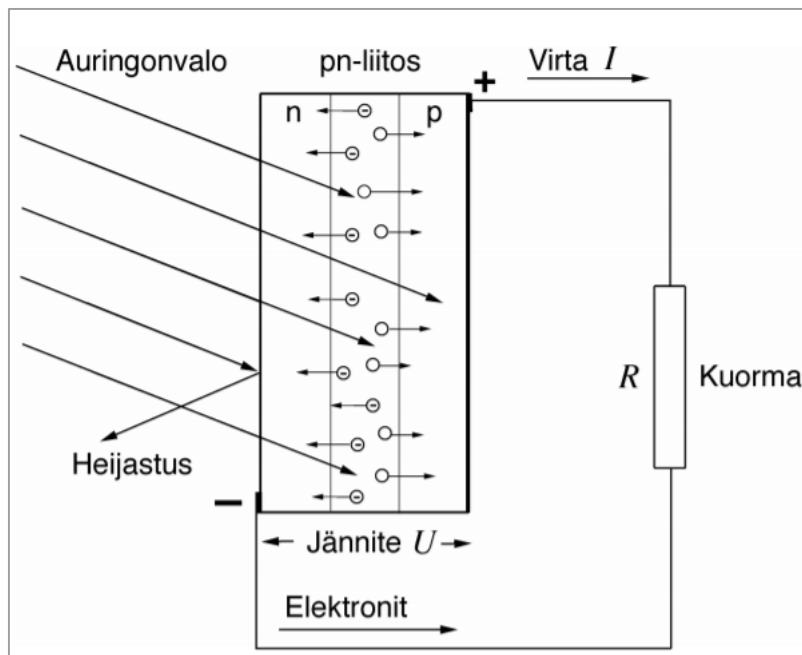
Kuva 13. Suomen verkkoon kytketty aurinkosähkökapasiteetti 2010–2018 [MW]. (ERA 2017)

Suomeen asennettujen aurinkosähköjärjestelmien koot vaihtelevat muutaman kilowatin (kW) järjestelmistä lähes 1 megawatin (MW) järjestelmiin. Tämän diplomityön kirjoitushetkellä syksyllä 2017 Suomen suurimmat kattoasenteiset aurinkosähköjärjestelmät ovat Keskon kahden Citymarketin katoilla sijaitsevat 900 kW<sub>p</sub> aurinkovoimalat. Helsingin Yliopistolla ollaan toteuttamassa Suomen suurinta aurinkosähkövoimalaa, jonka nimellisteho valmistuessaan on 1,2 MW. Aurinkovoimala tulee sisältämään yhteensä noin 3500 aurinkosähköpaneelia ja niiden yhteispinta-ala on noin 5600m<sup>2</sup>. Voimalan tuottama sähköenergia syötetään yliopiston omistamaan 20 kilovoltin keskijänniteverkkoon, joka jakaa sähköä Viikin kampuksella. Kaikki tuotettu sähkö käytetään paikallisesti ja tuoton on arvioitu kattavan noin 4 % kampuksen nykykulutuksesta. (Energiautiset 2017)

Tässä diplomityössä käsitellään olemassa oleviin rakennuksiin suunniteltavia aurinkosähköjärjestelmiä. Ensimmäisessä kappaleessa esitellään aurinkosähköpaneelien toiminta ja paneelien sähkötuottoon vaikuttavat tekijät. Toisessa kappaleessa esitellään aurinkosähkön hinta ja viimeiseksi käydään läpi aurinkosähköjärjestelmien potentiaaliin vaikuttavat tekijät ja soveltuvuus yliopistokampuksille.

### 4.3.1 Aurinkosähköpaneelien toiminta

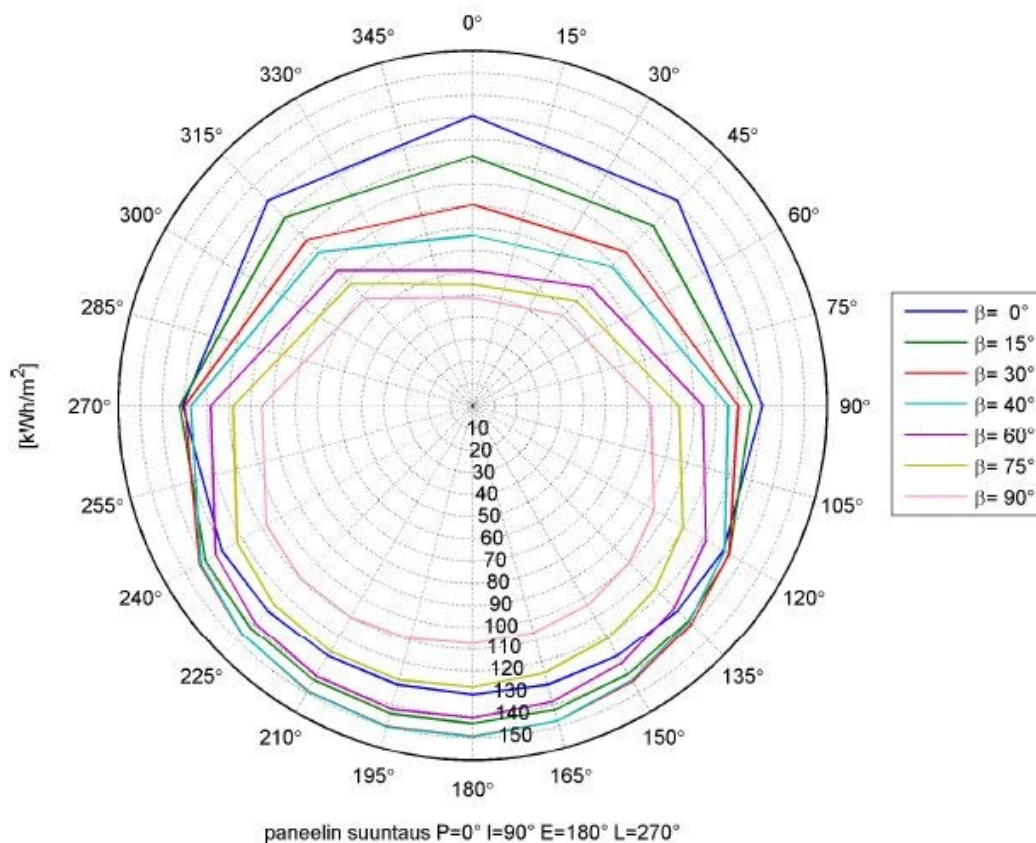
Aurinkosähköjärjestelmät mahdollistavat sähköenergian tuottamisen aurinkopaneeleilla, jotka on kytketty joko invertterin tai akun välityksellä sähköverkkoon tai suoraan sähköä kuluttaviin laitteisiin. Kooltaan noin  $1,6 \text{ m}^2$  aurinkopaneelit rakentuvat sarjaan kytketyistä noin  $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$  kokoisista aurinkokennoista. Aurinkokennot koostuvat yleensä p- ja n-tyypin puolijohdemateriaaleista. Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa kennoon saapuva auringonsäteiden energia aikaansaa kennon ala- ja yläpinnan välillä sähköjännitteen. Kennon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 14. Paneelin jännitetaso riippuu sarjaan kytkettyjen kennojen määrästä ja virta auringon säteilyn voimakkuudesta. Pilvisellä säällä auringon säteily on heikompaa ja paneelin tuottama virta pienempi. Paneelilla tuotettu sähkö on tasavirtasähköä, joka invertterin avulla muutetaan kiinteistössä käytettäväksi vaihtovirtasähköksi. Aurinkopaneeleita kytketään yleensä useampia sarjaan, jotta saavutetaan korkeampi jännitetaso. Sarjaan kytkennän haittapuolena on se, että yhden paneelin varjostuessa tai rikkoontuessa koko paneeliston teho heikkenee. Varjostuksia aiheuttaa lähistöllä sijaitsevat puut, muut rakennukset, katon muodot ja edellä olevat paneelirivit. Usein suurissa aurinkosähköjärjestelmissä paneelit kytketään osittain sarjaan ja osittain rinnan. (Mertens 2013)(Gao 2009)(RIL 2014)



Kuva 14. Aurinkokennon toimintaperiaate (Suntekno 2017)

Aurinkopaneeleissa käytettyjä aurinkokennoja on erityyppisiä, joista yksi- ja monikiteiset piikennot ovat yleisimmin käytössä olevia. Ohutkalvokennot ovat joustavuutensa ansiosta hyviä, mutta niiden hyötysuhde on huomattavasti heikempi kuin yksi- ja monikidekennoilla. Markkinoilla olevien kaupallisten yksi- ja monikiteisistä kennoista valmistettujen aurinkopaneelien hyötysuhteet vaihtelevat tällä hetkellä välillä 14–16 %. (Energysage 2017) Teknologiaiden kehittyessä hyötysuhteet ja yhdellä paneelilla tuotettu sähköteho kasvavat koko ajan. Esimerkiksi saksalaisen Solarwatt yhtiön valmistamien monikidekennopaneelien nimellisteho on muutamassa vuodessa kasvanut  $250 \text{ W}_p$ :sta  $280 \text{ W}_p$ :iin. (Solarwatt 2017) Aurinkopaneelien kolmannen sukupolven lupaavin vaihtoehto ovat nanokideteknologiaan perustuvat väriaineherkistetyt aurinkokennot, joilla voidaan pinnoittaa esimerkiksi seinämateriaaleja.

Usein kiinteistöjen sähköntuotantoon tarkoitetut aurinkosähköjärjestelmät sijoitetaan rakennuksen katolle tai integroidaan julkisivuun. Tasakattoisten kiinteistöjen katoille paneelit asennetaan riveihin tukien avulla haluttuun kallistuskulmaan. Erään aurinkosähköpaneelin nettotuotto Suomessa [ $\text{kWh/m}^2\text{a}$ ], suuntauksesta ja kallistuksesta riippuvana on havainnollistettu esimerkinomaisesti kuvassa 15. Suurin tuotto saadaan kallistuskulmalla  $45^\circ$  ja suuntaamalla paneelit etelän ja lounaan väliin. Jotta paneelirivistöt eivät varjosta toisiaan (Self-Shading) ja katon pinta-ala saadaan mahdollisimman tehokkaasti hyödynnettyä, paneelien optimaalinen kallistuskulma on usein  $45^\circ$  astetta matalampi, esimerkiksi  $20^\circ$ . (Mertens 2013 S. 227)



Kuva 15. Suuntauksen vaikutus SolarWatt Blue 60P 250Wp-paneelin vuosituottoon (Ylinen 2015)

#### 4.3.2 Aurinkosähkön hinta

Aurinkosähkö on Suomessa kannattavaa sillä ehdolla, että sitä tuotetaan omaan käyttöön, sillä korvataan kalliimpaa ostoenergiaa ja sen investoinnin kannattavuuden laskennassa käytetään aurinkosähköpaneelien takuuajan mittaista laskentajaksoa (yleensä 25 vuotta). (Auvinen at al. 2016)

Taulukossa 6 on esitetty keskimääräisiä aurinkosähköjärjestelmien avaimet käteen- asennushintoja Suomessa vuonna 2016. Yksikköhinnat taulukoissa kattavat koko teknisen järjestelmän sisältäen paneelit, invertterin, säätimet, kiinnikkeet ja johdot asennettuna.

*Taulukko 6. Keskimääräisiä aurinkosähköjärjestelmien avaimet käteen hintoja Suomessa (Finsolar 2017)*

Kategoria*/koko kW	Tyypillisiä sovelluskohteita ja lisätietoja	Hinnat €/kW <sub>p</sub> , ALV 0%
Verkkoon kytketyt <b>yli 1 000 kW</b> (1 MW) järjestelmät, maasennus	Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat, joista tuotanto myydään sähköpörssiin. Voimalaitoksia ei vielä ole Suomessa.	1200 – 1000 €/kW <sub>p</sub>
Verkkoon kytketyt <b>yli 250 kW</b> järjestelmät, kattoasennus	Aurinkosähköä tuotetaan teollisuus- tai isoissa kaupan alan kiinteistössä omaan kulutukseen.	1300 – 950 €/kW <sub>p</sub>
Verkkoon kytketyt <b>10 – 250 kW</b> järjestelmät, kattoasennus	Aurinkosähköä tuotetaan toimisto- ja kaupparakennuksissa ja kuntakiinteistöissä omaan kulutukseen.	1 350 – 1050 €/kW <sub>p</sub>
Verkkoon kytketyt <b>alle 10 kW</b> järjestelmät	Aurinkosähköä tuotetaan omakotitaloissa ja muissa pienissä rakennuksissa omaan kulutukseen.	2 000 – 1300 €/kW <sub>p</sub>

\*Kategorioissa noudatettu IEA PVPS-maaraportoinnissa käytettävää luokittelua.

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa hankintahinnan lisäksi sähkön nykyinen hankintahinta, aurinkosähkön oman käytön osuus, ylläpitokulut ja järjestelmän käyttöikä. Kuten jo aiemmin luvussa 3.4 todettiin, aurinkosähköjärjestelmien toimittajien määrä Suomessa on kasvussa joten hintojen voi olettaa tippuvan lähivuosina entisestään.

LCOE (levelized cost of energy) kuvaa aurinkosähkön tuotantohintaa, joka muodostuu alkuinvestoinnista ja elinkaaren aikaisesta aurinkosähkön tuotosta ja ylläpitokustannuksista. Finsolarin internetsivuilla (Finsolar 2017) on esitetty yksinkertaistettu aurinkosähkön LCOE-hinta, joka perustuu vuoden 2016 aurinkosähköjärjestelmien hankintatilastoihin.

- Halvimmalla hankintahinnalla LCOE-tuotantohinta on 4,2 snt/kWh (ALV 0 %).
- Kalleimmalla hankintahinnalla LCOE-tuotantohinta on 8,6 snt/kWh (ALV 0 %).

LCOE on laskettu halvimman (950 €/kW<sub>p</sub>) ja kalleimman hankintahinnan mukaan (2000 €/kW<sub>p</sub>) käyttäen laskentaoletuksia, jossa järjestelmän käyttöikä on 30 vuotta, korko 0 %, vuosituotto 850 kWh/kW<sub>p</sub> ja tuotanto menee kokonaan omaan kulutukseen. Hinnat eivät pidä sisällään Tekesin uusiutuvan energian investointitukea. Halvimmillaan hinta on 3,3 snt/kWh investointituen kanssa.

### 4.3.3 Aurinkosähköpotentiaalin määrittäminen

Tässä diplomityössä keskitytään kattoasenteisiin aurinkopaneeleihin, joten aurinkosähköpotentiaalia tarkastellaan vain kattojen näkökulmasta. Ylivoimaisesti suurin aurinkosähköpotentiaalin vaikuttava tekijä on paneeleille soveltuvan kattopinta-alan koko. Mitä suurempi pinta-ala voidaan täyttää paneeleilla, sitä enemmän aurinkosähköä voidaan tuottaa.

Toinen tärkeä aurinkosähköpotentiaaliin vaikuttava tekijä on kiinteistön sähkönkulutus ja kesäaikainen pohjakuorma, koska se määrittää kuinka paljon tuotetusta aurinkosähköstä voidaan käyttää kiinteistössä. Aurinkosähköjärjestelmän tuottamasta sähköenergiasta merkittävä osa syntyy kesäkuukausien aikana, jonka takia potentiaalisimpia ovat rakennukset, joiden kesäaikainen sähkönkäyttö on suurta. Tällaisia kohteita ovat monet yliopistokiinteistöt, joissa tutkimustoiminta jatkuu ympäri vuoden. Heikommin soveltuvia kohteita ovat esimerkiksi peruskoulut, jotka ovat suljettuina kesäkuusta elokuuhun. Sähköenergiankulutuksen selvittäminen on avainasemassa, kun potentiaalia kartoitetaan. Kattava hyvin toteutettu mittarointi auttaa aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa, kun sähkönkulutuksen pohjakuorma tiedetään tuntitasolla.



Potentiaalin määrittelyssä on hyvä ottaa myös huomioon kiinteistön nykyinen käyttöaste ja käyttöasteen mahdollinen muutos tulevaisuudessa, koska käyttöaste ja kohteen käyttäjät vaikuttavat sähkönkulutuksen profiliin ja tätä kautta siihen, kuinka paljon tuotetusta aurinkosähköenergiasta voidaan hyödyntää kiinteistössä. Jos kiinteistön aurinkosähköjärjestelmä on mitoitettu kesäajan täyden pohjakuorman mukaan ja kiinteistön vuokralainen vaihtuu ja sähkönkulutus merkittävästi laskee, voi aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika venyä, kun kaikkea tuotettua aurinkosähköä ei voidakaan käyttää kiinteistössä.

Toukokuussa 2017 maankäyttö- ja rakennuslakiin tuli muutos, jonka mukaan aurinkosähköpaneelien asentamiseen ei tarvita enää kuntien myöntämää toimenpidelupaa muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Aurinkosähköpaneelien asentaminen on edelleen toimenpideluvanvaraista, mikäli ne vaikuttavat merkittävästi kaupunkikuvaan tai ympäristöön. Käytännössä toimenpide- tai rakennuslupa tarvitaan siis silloin, kun rakennuspaikka sijaitsee rakennushistoriallisesti, kaupunkikuvallisesti tai maisemallisesti arvokkaalla paikalla. Osa vanhoista yliopistorakennuksista saattaa olla museoviraston suojeltavia ja aurinkopaneelien asentaminen tällaisiin kiinteistöihin vaatii toimenpideluvan. Ympäristöministeriön Matti Laitio mukaan suuren mittakaavan toteutukset edellyttävät edelleen lähtökohtaisesti toimenpidelupaa ja aurinkovoimalat saattavat vaatia jopa rakennuslupan (Laitio 2017)

Ennen aurinkosähköjärjestelmän hankintapäätöstä kiinteistöomistajan tulisi selvittää katon kantavuus rakennesuunnittelijan tekemällä rakennettavuusselvityksellä, joka pohjautuu vesikaton rakenne- ja elementtipiirustuksiin. Yleensä aurinkosähköjärjestelmän paino ei ole rajoittava tekijä, sillä aurinkopaneeli telineen ja kiinnityspainon kanssa painaa vain 25–30 kg/m<sup>2</sup>. Kuormitusta katolle aiheuttavat paneelien oman painon lisäksi ulkoiset voimat, kuten lumen kinostuminen paneelien väliin, tuulen aiheuttama noste ja roskien kerääntyminen. (Wills et al. 2014) Kattoasenteisten aurinkosähköpaneelien investointipäätöstä tehtäessä tulisi huomioida myös mahdolliset lähivuosien vesikattoremontit, joita asennettu aurinkosähköjärjestelmä voi vaikeuttaa. Katon olisi hyvä kestää koko aurinkosähköjärjestelmän elinkaari 25 vuotta, ellei paneelijärjestelmää rakenneta siten, että sitä voidaan siirrellä vesikattoremontin aikana. (Jaatinen 2017)

Kun etsitään aurinkosähkön suurinta vaikuttavuutta hiilidioksidipäästöihin kiinteistösalkussa, joka koostuu eri puolella Suomea olevista kiinteistöistä, ei nykyisellä sähkönhankinnalla ole juurikaan merkitystä. Ostetun sähköenergian päästöt eivät ole samalla tavalla paikallisia, kuin kaukolämmityksen. Sähköenergiaa voidaan ostaa sijainnista riippumatta eri toimijoilta ympäri Suomea ja näin valita ostosähkön hiilidioksidipäästöjen suuruus.

#### **4.4 Energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjen laskenta**

Kiinteistöomistajalle kustannusteknisten syiden jälkeen seuraava syy vaihtaa olemassa olevissa rakennuksissa keskitetystä lämmöntuotannosta hajautettuun, on rakennusten energiankulutuksen CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen.

Rakennusten kokonaisenergiankäytön aiheuttamille CO<sub>2</sub>-päästöille on kehitetty erilaisia laskentamenetelmiä. Perehdytään seuraavaksi Motivan CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeeseen. Ohje on tehty käytettäväksi ensisijaisesti kiinteistö- ja palvelusektorin sekä pk-teollisuuden yksittäisten kohteiden sekä suppeiden yhden omistajan kiinteistömassoja käsittelevien energiankäytön CO<sub>2</sub>-päästötarkasteluissa. (Motiva 2012)

Laskentaohjeessa on esitetty polttoaineille sekä lämmölle ja sähkölle CO<sub>2</sub>-päästökertoimet, joilla lasketaan kohteiden kokonaisenergiankäytön CO<sub>2</sub>-päästöarvio sekä mahdollisten suunniteltujen tai toteutettujen energian käyttöön tai hankintaan liittyvien toimenpiteiden

vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin. Esitetyt päästökertoimet taulukossa 7 ovat koko Suomea koskevia. Mikäli on tiedossa paikallisen lämmönmyyjän ilmoittama päästökerroin, tulee tätä käyttää päästölaskennassa. Myös sähkön osalta laskenta suoritetaan ensisijaisesti sähkönmyyjän ilmoittaman myymänsä sähkön CO<sub>2</sub>-päästökertoimella (K1). Ostosähkön päästölaskennan rinnalla suositellaan esitettäväksi päästöt laskettuina myös käyttäen Suomen keskimääräistä sähkönhankintaa kuvaavaa CO<sub>2</sub>-päästökerrointa (K2). Näin saadaan esitettyä myös päästöjen suuruusluokka, mikäli laskentahetken sähkösopimus muuttuu tulevaisuudessa vähäpäästöisestä esimerkiksi keskimääräiseksi markkinasähköksi. Arvioitaessa energiansäästötoimenpiteen vaikutuksia CO<sub>2</sub>-päästöihin, voidaan ottaa käyttöön vielä kolmas marginaaliperusteinen sähkön päästökerroin (K3). Marginaaliperusteinen sähkönpäästökerroin perustuu siihen, että energiansäästötoimenpiteet kohdistuvat sähkön marginaalituotantoon, joka on tuotantoa jota säädetään kulutuksen mukaan, eli usein hiililauhdetuotantoa. Tätä kerrointa ei kuitenkaan tule käyttää sähkönkulutuksen laskentaan vaan ainoastaan kulutusmuutosten aiheuttamien CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaan. (Motiva 2012)

*Taulukko 7. Polttoaineiden, kaukolämmön, sähkön ja ydinenergian päästökertoimia (Motiva 2012)(Tilastokeskus 2017a)*

Lämmitysmuoto	Päästökerroin [kg CO <sub>2</sub> /MWh]
Raskas polttoöljy	284
Kevyt polttoöljy	261
Maakaasu	199
Nestekaasu	234
Turve	368 (jyrsin-, pala- ja turvepellettien keskiarvo)
Kivihiihi	335
Koksi	107
Puuperäiset polttoaineet	394
Kaukolämpö (yhteistuotanto)	176
Kaukolämpö (erillistuotanto)	vaihtelee välillä 20–450 paikkakunnan mukaan
Sähkö K2 (Suomen keskimääräinen)	181
Sähkö K3 (Marginaaliperusteinen)	600
Ydinenergia	0

Toistaiseksi puuperäisiä polttoaineita tarkastellaan päästölaskennassa taulukosta 7 poiketen ilmastoneutraalina ja sen päästökerroin laskennassa on nolla.

Lämmitystapaa vaihtaessa keskitetystä kaukolämmöstä esimerkiksi maalämpöpumppuun olisi tarpeen tarkastella paikallisen kaukolämpöyhtiön päästökertoimen lisäksi kyseisen päästökertoimen laskentamenetelmiä. Kaikki energiayhtiöt eivät laske kaukolämmön päästökerrointa hyödynjakomenetelmällä ja eroja löytyy esimerkiksi jätteenpolttolaitoksen käsittelyssä laskennassa. Vaikeuksia tarkasteluun tuottaa tietysti myös se, että kaikki energialaitokset eivät julkaise päästökertoimen laskentamenetelmäänsä. Tämän työn laajuus huomioiden, ei oteta kantaa energiayhtiöiden kaukolämmön päästökertoimien laskentamenetelmiin.

Biopolttoaineilla tuotetun kaukolämmön korvaaminen maalämpöpumpulla on kyseenalaista esimerkiksi siksi, että maalämpöpumpun talviaikaan tarvitsema runsas sähköenergia on mitä luultavimmin tuotettu lauhdetuotannolla, eli fossiilisilla polttoaineilla. Tätä ei oteta huomioon Motivan laskentamenetelmässä. Väärän laskentamenetelmän käyttäminen päätöksenteon tukena voi aiheuttaa päästöjen vähenemisen paikallisesti kiinteistössä, mutta kasvattaa niitä reilusti muualla. Vastaavasti kiinteistön omilla aurinkosähköpaneeleilla tuotetaan sähköä pääasiassa kesäaikaan, jolloin sillä vältetään luultavimmin vähäpäästöistä ydin- ja vesivoimalla tuotettua ostosähköenergiaa.

Oman uusiutuvan energian tuotannon tarkastelun yhteydessä olisi hyvä tehdä päästölaskennan herkkyystarkastelu, jossa lisääntyvälle sähkönkäytölle käytetään marginaaliperusteista päästökerrointa K3, joka on 600 kg CO<sub>2</sub>/MWh.

## 5 Kampuspotentiaali

Tässä kappaleessa perehdytään SYK:n uusiutuvan energian käyttöönoton potentiaaliin sen kampuksilla. Tutkimus pitää sisällään kaikki SYK:n yhdeksän energiankulutukseltaan suurinta kampausta, jotka on määritelty tässä työssä aiemmin. Esiselvitysvaihe on luonteeltaan laadullinen tutkimus, jonka aineisto koostuu tämän diplomityön yhteydessä. Aineisto kerätään käyttäen apuna kohteiden huoltokirjaa, energiamanagereiden kohdekohtaisia tietoja, paikkatietoon perustuvia karttoja, energiayhtiöiden kaukolämmön tuotannon päästötietoja ja alueellisten tavoitteiden julkisia julkaisuja. Aineiston avulla tutkitaan kaikkien kampusten uusiutuvan energian hyödyntämispotentiaali maalämmön, vesistölämmön, aurinkosähkön osalta verraten potentiaalia nykyisen energian hintaan, päästöihin sekä kaupunkikohtaisiin tavoitteisiin. Näiden väliltä pyritään löytämään yhteyksiä, ja tekemään johtopäätöksiä, joita voidaan jatkossa käyttää uusiutuvan energian lisäämiseen liittyvän päätöksenteon tukena yrityksessä. Analyysin toisena tavoitteena on tutkia, millä uusiutuvan energian keinolla on suurin potentiaali vähentää energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjä. Tätä tutkitaan valituilla uusiutuvan energian tuotantomuodilla niille parhaiten soveltuvalla kampuksella tutkimuksen toisessa osassa.

Alueellisten tavoitteiden selvityksellä pyritään ottamaan kantaa siihen, kannattaako SYK:n tehdä omia investointeja CO<sub>2</sub>-päästöjen pienentämiseksi, mikäli paikallinen energiantuottaja linjaa strategiassaan, että sen koko kaukolämmön tuotanto on tuotettu uusiutuvilla energialähteillä esimerkiksi vuoteen 2020 mennessä.

### 5.1 Aurinkosähköselvityksen laskentaperiaatteet

Tämän diplomityön yhteydessä SYK:lle tuotettiin lähes koko kiinteistökannan kattava aurinkosähköpotentiaalin selvitys. Selvityksessä kaikkien kampusten aurinkosähköpotentiaali on esitetty mahdollisena aurinkosähköenergiantuottona [MWh] vuodessa. Selvityksen voi löytää tämän diplomityön liitteestä 1. Seuraavaksi käydään läpi selvityksessä käytetty laskentaperiaate ja selvityksestä tässä diplomityössä käytettävä osuus.

Aurinkosähköselvityksessä tutkittiin SYK:n mahdollinen kattopinta-ala, joka on mahdollista ottaa käyttöön aurinkosähköenergiantuottoa varten. Kattopinta-ala laskettiin ilmakuvista käyttäen kahta eri karttasovellusta, jotta mahdolliset varjostavat esteet voitiin tunnistaa. Pinta-alan mittaamiseen käytettiin maanmittauslaitoksen tuottamaa paikkatietoikkuna karttasovellusta, jossa on pinta-alan mittaustyökalu. Vertailevana ilmakuvana käytettiin Google Maps:n satelliittikuvaa. Kattopinta-ala jaoteltiin kahteen luokkaan, joita kutsutaan A- ja B-potentiaaliksi. Potentiaalien määrittely on esitetty kuvassa 16. Tässä diplomityössä ja kampusten esiselvityksissä käytetään vain A-potentiaalilin osuutta, joka koostuu rakennuksista, joiden katoilla on yhteensä yli 100 m<sup>2</sup> vapaata varjostamatonta katto pinta-alaa. Katto on joko tasakatto tai kalteva etelään eikä se sisällä merkittäviä läpivientejä katon rakenteiden läpi, joita ei tulisi peittää paneeleilla.

<h2>A-potentiaali</h2> <p>Helposti hyödynnettävissä</p>	<h2>B-potentiaali</h2> <p>Sisältää epävarmuustekijöitä</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yli 100m<sup>2</sup> (yli 50m<sup>2</sup> osissa)</li> <li>• Tasakatto tai kalteva katto etelään</li> <li>• Ei merkittäviä varjostavia elementtejä tai läpivientejä katossa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yli 100m<sup>2</sup> (yli 50m<sup>2</sup> osissa)</li> <li>• Tasakatto, jolla läpivientejä</li> <li>• Kalteva katto itä, kaakko, lounas tai länsi</li> <li>• Mahdollisia varjoja, jotka eivät käy selvästi ilmi ilmakuvista</li> <li>• Suojellut rakennukset</li> </ul>

Kuva 16. A- ja B-potentiaalien määritelmät aurinkosähköselvityksessä

Seuraavaksi esitetään laskentaperiaatteet, joilla aurinkosähköpotentiaali muutetaan laske-  
tusta kattopinta-alasta potentiaaliseksi vuotuiseksi sähköenergiantuotoksi. Laskennassa käy-  
tetyt oletukset ovat:

- Aurinkopaneelin koko 1,6 m<sup>2</sup>
- Aurinkopaneelin nimellisteho 260 W
- Aurinkosähkön vuosituotto 900 kWh/kW<sub>p</sub>

Kuvassa 17 on esitetty Suomen aurinkoenergian vuosituottopotentiaali [kWh] pinta-alaa ja  
1 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmää kohti, jonka järjestelmän hyötysuhteeksi on oletettu 75 %.  
Huomattavaa, että tämän diplomityön kaikki kampukset sisältävässä aurinkosähköselvityk-  
sessä on käytetty samaa arvoa kaikille kampuksille niiden sijainnista riippumatta. Aurin-  
kosähköjärjestelmän mitoituksessa tulee käyttää tarkempia saatavilla olevia ilmatieteenlai-  
toksen tuntikohtaisia säteilytietoja.



Kuva 17. Säteily Suomessa

Laskennassa käytetyt kaavat on esitetty alla:

$$\text{Aurinkosähköjärjestelmän teho } [kW_p] = \frac{\text{Kattopinta} - \text{ala} * \frac{2}{3}}{1,6 \frac{m^2}{kW_p}} * 0,26 kW$$

$$\text{Järjestelmän tuotto vuodessa} [kWh] = \text{teho} * 900 \frac{kWh}{kW_p}$$

Yllä olevien kaavojen ja lukuarvo-oletuksien mukaan laskettuna 1000 m<sup>2</sup> vapaalla kattopinta-alalle voidaan asentaa 108 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala, jolla voidaan tuottaa vuodessa sähköenergiaa 97,5 MWh.

Olemassa olevien aurinkosähköjärjestelmien tuottokapasiteettia kuvailemaan voidaan käyttää suorituskkykerrointa. Se on yksinkertaisesti asennettujen paneelien toteutunut vuosituotanto [kWh] jaettuna asennettujen paneelien nimellisteholla [kW<sub>p</sub>].

## 5.2 Uusiutuvan energian potentiaalin määrittäminen kampuksilla

Tähän kappaleeseen on kerätty uusiutuvan energian kampuspotentiaaliin vaikuttavat tekivät, jotka tässä työssä kerätään tutkimusaineistoksi. Tutkimusaineisto on jaoteltu viiteen alakategoriaan, jotka ovat:

1. Perustiedot
2. Maalämpö
3. Vesistölämpö
4. Aurinkosähkö
5. Alueelliset tavoitteet.

Näiden viiden kategorian lisäksi jokainen kampus esitellään lyhyesti sen rakennusten rakennusvuosien, bruttoalan ja kiinteistöissä tapahtuvan toiminnan perusteella. Myös nykyinen uusiutuvan energiantuotanto kampuksilla tuodaan ilmi. Alla on käsitelty tiedot, jotka aineistoon sisällytetään. Sulkuihin on merkitty lähdeaineisto.

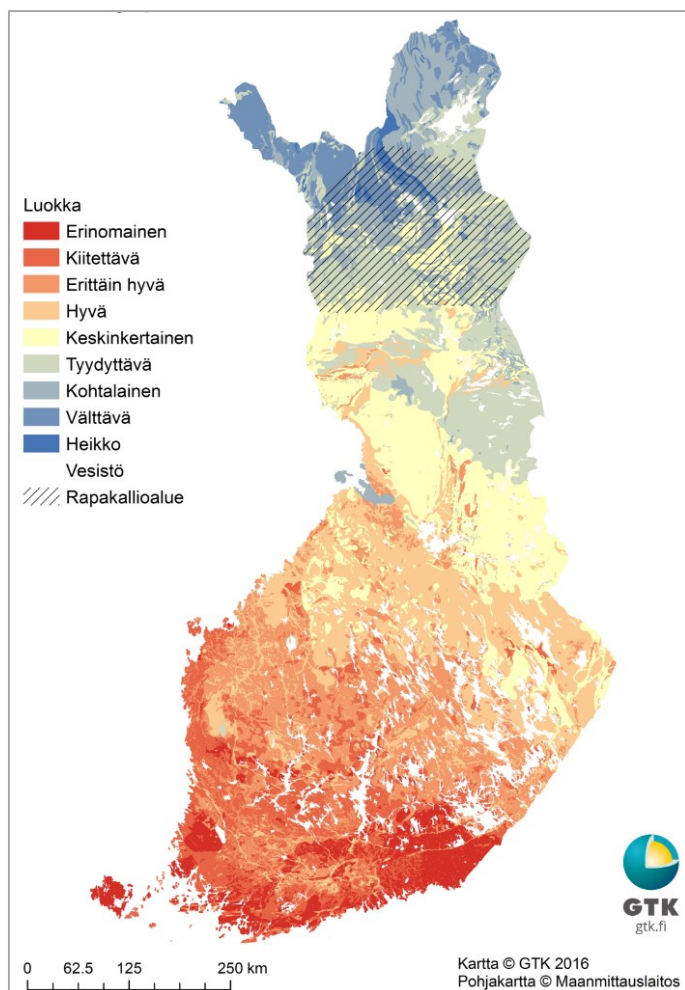
### Perustiedot:

- Lämpö- ja sähköenergiankulutus kampuksilla (Granlund Manager huoltokirja 2017)
- Sähköenergian hinta ja päästökerroin (Energiamanageri)
- Nykyinen kaukolämmön hinta (Energiateollisuus 2017b)
- Nykyinen kaukolämmön päästökerroin (Paikallisen energiyhtiön internetsivut)

### Maalämpö:

- Geoenergiapotentiaali GTK:n kartan mukaan (esitetty kuvassa 18)
- Kallioperän kivilaji ja sen lämmönjohtavuus (GTK, Maankamara karttapalvelu, kallioperäkartta 1: 200 000)
- Kallioperän kivilajin lämmönjohtavuus (Peltoniemi & Kukkonen 1995)
- Maapeitepaksuus
  - (GTK, Hakkupalvelu, maapeitepaksuuskartta 1:1 000 000)
  - (GTK:n keräämiä porareiden kairaustietoja)
- Sijaitsevatko kiinteistöt pohjavesialueella? (SYKE avoin aineisto, paikkatietoikuna, pohjavesialueet kartta (1:20 000))
- Tila geoenergiakaivoille tontilla (Google Maps, energiamanageri)

Maalämpöpotentiaalissa esiintyvät, paikkatietoihin perustuvat selvitykset ja kuvakaappaukset käytetyistä kartoista löytyvät liitteestä 2.



Kuva 18. GTK:n määrittämä geoenergiapotentiaaliluokituskartta

### Vesistölämpö:

- Rakennusten ja vesistön rannan välinen etäisyys (Google maps)
- Vesistön syvyys (Navionics 2017)

### Aurinkosähkö

- Aurinkosähkön tuottopotentiaali [ $\text{kW}_p$ ] koko kampuksella (Liite 1)
- Aurinkosähkön energiantuottopotentiaali [ $\text{MWh/a}$ ] koko kampuksella (Liite 1)
- Aurinkosähkön tuotantopotentiaali verrattuna kampuksen nykyiseen sähkönkulutukseen [%] (Liite 1)

### Alueelliset tavoitteet:

- Alueellisen ilmastostrategian päästövähennystavoite ja uusiutuvan energian tavoite
- Tavoitteita edistävät toimenpiteet
- Kaukolämpöyhtiön uusiutuvan energian osuus tuotannossa
- Paikallisen energiayhtiön uusiutuvan energian tavoitteet strategiassa

### 5.2.1 Joensuun kampuspotentiaali

Joensuun kampusalue sijaitsee Joensuun keskustassa ja koostuu yhteensä 15 rakennuksesta, joissa toimii Itä-Suomen yliopisto ja ylä- ja alakoulu. Kampuksen rakennusten yhteenlaskettu bruttopinta-ala on noin  $94\,700\text{ m}^2$ . Suurin osa rakennuskannasta on 70- ja 80-luvulta. Uusimmat rakennukset ovat 2002 ja 2006 valmistuneet Aurora ja Aurora 2. Joensuussa kam-

puksella sijaitsee muun muassa filosofinen, luonnontieteiden, yhteiskuntatieteiden ja kauppatieteiden tiedekunnat ja siellä tehdään kyseisten alojen tutkimusta. Joensuun kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot, hinnat ja päästökertoimet on esitetty taulukossa 8. Kampuksella ei ole omaa uusiutuvan energian tuotantoa.

*Taulukko 8. Joensuun kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet*

Energiamuoto	hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Fortum Power and Heat Oy	12 541	62,3	150 (v.2015)
Sähkö	Hansel	9 861	80,0	138,2 (v.2016)

Lämmitysenergian kulutus taulukossa on sääkorjattu. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. (Energiateollisuus 2017b) Sähkön hinta on syyskuun 2017 sähkölaskulta ja pitää sisällään Hanselilta puitesopimuksella ostetun sähköenergian ja Carunan sähkönsiirron. Taulukossa olevat kulutustiedot pitävät sisällään Joensuun kampusalueen, joka on esitetty kuvassa 19.



**Kuva 19. Joensuun kampusalue**

### ***Aurinkosähkö***

Joensuun kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Joensuussa on paljon tasakattoisia rakennuksia ja kampuksen aurinkosähköpotentiaali on yksi SYK:n parhaista. Kokonaispotentiaali kampuksella on 1 173 kW<sub>p</sub> eli 1056 MWh/a, joka on 11 % selvityksessä mukana olevien rakennusten vuoden 2015 kokonaissähkökulutuksesta. Viidestätoista rakennuksesta jopa viiden katolle voitaisiin asentaa yli 100 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala.

### ***Maalämpöpumppu***

Geoenergiapotentiaali Joensuussa on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan hyvä. Kampuksen alueella maapeitepaksuus vaihtelee välillä 10-30m ja alueen kivilaji on kiilleliuske, jonka lämmönjohtavuus on 2,8 W/mK. Joensuun kampusalue ei Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2.



Joensuun kampusalueella on 3 kaukolämmön pääliittymää, jotka sijaitsevat Haltian, Carelian ja Educan rakennuksissa. Kaikissa rakennuksissa on omat kaukolämmön alajakokeskukset. Kaikki rakennukset sijaitsevat SYK:n omalla tontilla, mutta tontit ovat ahtaita. Parhaiten geoenergiakentälle on tilaa Aurora ja Aurora 2 rakennusten edessä olevalla parkkipaikalla, johon mahtuisi noin 40 maalämpökaivon geoenergiakenttä. Kyseisten rakennusten yhteenlaskettu lämmitysenergiankulutus vuonna 2016 oli 1 396 MWh. Aurora ja Aurora 2 ovat myös kampuksen uusimmat rakennukset, joten niiden lämmönjaon lämpötilatasot ovat luultavimmin matalimmat, joten ne soveltuvat parhaiten lämpöpumpulle.

### ***Vesistölämpöpumppu***

Joensuun kampusalue ei sijaitse tarpeeksi lähellä vesistöjä, jotta niiden hyödyntäminen lämmönlähteenä olisi teknistaloudellisesta näkökulmasta järkevää.

### ***Joensuun alueelliset tavoitteet***

Joensuu on Lappeenrannan ohella toinen SYK kampusten HINKU-kunnissa, joiden yhteisenä tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 80 % vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Joensuussa on vuonna 2013 päivitetty ilmasto-ohjelma. Kaupunki tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2025 mennessä ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistä 60 %:lla vuoden 2012 tasosta. Joensuun hiilineutraaliuden tavoite on SYK:n kaupunkien vertailussa mahtipontisin. (Joensuun kaupunki 2014)

Joensuun kaukolämpöverkossa sähkön ja kaukolämmöntuotannon CO<sub>2</sub>-päästökerroin vuonna 2015 oli 150 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on alle Suomen keskiarvon 176 kgCO<sub>2</sub>/MWh. Kaukolämmön tuotannossa käytetyistä polttoaineista 69,4 % oli biopolttoaineita, 24,0 % turvetta ja 6,6 % polttoöljyä.

SYK:n tekemän kampuskierroksen yhteydessä Itä-Suomen yliopiston Joensuun kampuksen edustajat vastasivat, että kiinnostus uusiutuvan energian tuottamiseen kampuksella on suuri ja jonkin verran myös kiinnostaa päästöjen vähentämien.

## **5.2.2 Jyväskylän kampuspotentiaali**

Jyväskylän kampusalue sijaitsee Jyväskylässä Jyväsjärven molemmin puolin ja se koostuu kahdeksasta kiinteistökokonaisuudesta. Tässä työssä niistä käsitellään neljää lämmönkulutukseltaan suurinta ja toisiaan lähellä olevaa

- Seminaarinmäkeä,
- Ylistönrinnettä,
- Normaalikoulun yläkoulua ja lukiota ja
- Normaalikoulun alakoulua.

Kiinteistöjen yhteenlaskettu pinta-ala on noin 138 300 m<sup>2</sup>. Suurin vuokralainen Jyväskylän kampuksilla on Jyväskylän yliopisto. Jyväskylän yliopistossa toimivat muun muassa humanistis-yhteiskuntatieteellinen, kasvatustieteen ja psykologian, liikuntatieteen- ja matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. Seminaarinmäen rakennuskanta on iäkästä. Vanhimmat rakennukset ovat 1800-luvun lopulta ja paljon on rakennuksia 1950 ja 1970-luvuilta. Ylistönrinneten rakennukset ovat kaikki rakennettu vuoden 1990 jälkeen. Matemaattis-luonnontieteen tiedekunta sijaitsee Ylistönrinteellä ja pitää sisällään paljon tutkimustoimintaa ja esimerkiksi hiukkaskiihdyttimen. Kiinteistökokonaisuudet on kuvattu kartalla kuvassa 20.



Kuva 20. Jyväskylän kampuksen kiinteistökokonaisuudet kartalla

Jyväskylän kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot, hinnat ja päästökertoimet on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Jyväskylän kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet

Energiamuoto	hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Jyväskylän Energia	24 039	60,0	168
Sähkö	Hansel	19 397	75	138,2

Lämmitysenergian kulutus taulukossa on sääkorjattu. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. (Energiateollisuus 2017b) Jyväskylän yliopistolla on pörssisähkön tuntihintoihin sidottu sähkösopimus. Sähkön hinta on arvio sisältäen sähköenergian, sähkönsiirron ja sähköveron. Taulukossa olevat kulutustiedot pitävät sisällään Jyväskylän kampusalueen, jonka kiinteistöt on lueteltu ylempänä. Tässä diplomityössä käsiteltävissä Jyväskylän kampuksen kiinteistöissä ei ole toistaiseksi omaa uusiutuvan energian tuotantoa. Seminaarinmäen vieressä sijaitsee SYK:n omistama Ruusupuiston uudisrakennus, jonka katolla on 30 kW aurinkosähköjärjestelmä, joka tuotti vuonna 2016 24 MWh sähköä.

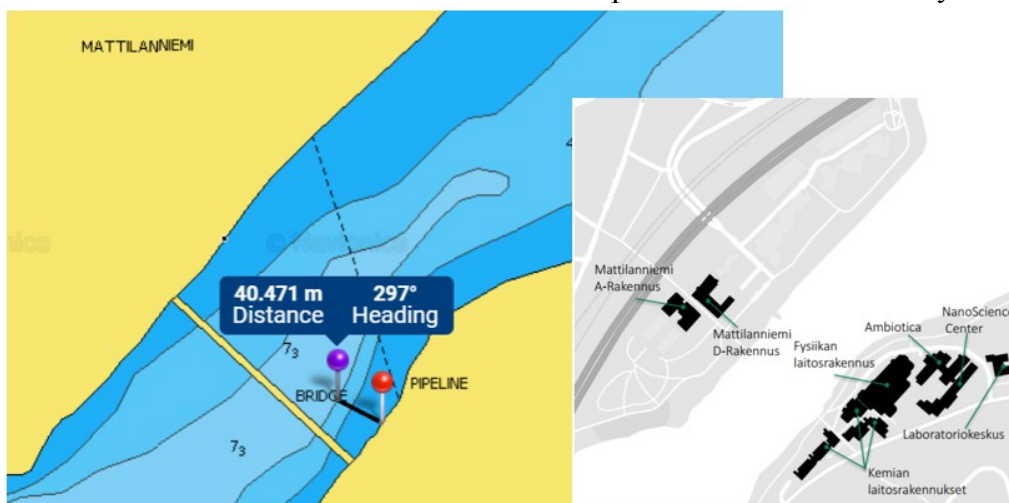
### Aurinkosähkö

Jyväskylän kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Johtuen Seminaarinmäen rakennuskannan iästä ja Ylistönrinteeseen uudemman rakennuskannan katon muodoista, Jyväskylän aurinkosähköpotentiaali ei ole muihin SYK kampuksiin verrattuna kovin hyvä. Kokonaispotentiaali kampuksella on 462 kW<sub>p</sub> eli 415 MWh/a, joka on vain 2 % selvityksessä mukana olevien rakennusten vuoden 2016 kokonais-sähkökulutuksesta. Aurinkosähköselvitys piti sisällään 20 rakennusta, joista kolmen katolle olisi mahdollista asentaa yli 100 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala. Nämä rakennukset ovat Ylistönrinteeseen Fysiikan ja Kemian laitosrakennukset sekä Normaalikoulun alakoulu.

### Vesistölämpöpumppu

Jyväskylän kampusalue levittäytyy Jyväsjärven molemmille puolille. Ylistönrinteeseen kiinteistökokonaisuus sijaitsee rinteessä järven rannalla. Etäisyys rakennuksilta rantaan on vain noin 30 metriä. Jyväsjärvi on Ylistönrinteeseen kohdalta syvimmillään noin 7m syvä, kuten kuvasta 21 nähdään. Tämä riittää Uponorin vesistölämpöpumppuratkaisulle, jossa imuputki

tuli sijoittaa vähintään 4 metrin syvyyteen. Ylistönrinteen korkean lämmönkulutuksen ja rakennusten iän vuoksi Ylistönrinne on otollinen paikka vesistölämmön käyttöönotolle.



Kuva 21. Jyväsjärven syvyys ja syvän osan etäisyys rannasta (Navionics 2017)

### ***Maalämpöpumppu***

Geoenergiapotentiaali Jyväskylän kampuksen alueella on GTK:n geoenergiapotentiaali-luokittelun mukaan hyvä tai kiitettävä. Ylistönrinteen maapeitepaksuus on vain 0-1 metriä, kun taas Seminaarinmäen maapeitepaksuus vaihtelee välillä 30–50 metriä hakkupalvelun kartan mukaan. Porareiden kairaustietojen mukaan Seminaarinmäen lähialueilla maapeitepaksuus on 20-30 metriä. Kymmenien metrien maapeitepaksuudet lisäävät maaenergiakäyttöjen investointikustannuksia ja vaikuttavat näin maalämmön kannattavuuteen. Maapeitepaksuus saattaa kuitenkin vaihdella jopa kiinteistötasolla, joten maapeitepaksuuden selvittämiseksi seminaarinmäellä suositellaan lisätutkimuksia. Jyväskylän kampusalue ei Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Kallio-perän kivilaji on granodioriitti, jonka lämmönjohtavuus on hyvä 3,19 W/mK. Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2.

Ylistönrinteen kampusalue on tiiviisti rakennettu, eikä tontilla ole tilaa geoenergiakentälle. Myös Seminaarinmäen kampus on tiiviisti rakennettu ja suuremmalle geoenergiakentälle mahdollisia sijoituspaikkoja on muutaman parkkipaikan ja urheilukentän verran.

### ***Jyväskylän alueelliset tavoitteet***

Vuonna 2015 Jyväskylän kaupunki sitoutui valtuuston päätöksellä resurssiviisaussitoumukseen, jossa se pyrkii tavoittelemaan jätteettömyyttä, päästöttömyyttä ja ylikulutuksetonta elämää viimeistään vuoteen 2050 mennessä. Resurssiviisauden tiekartan mukaan Jyväskylän energiantuotanto on hiilineutraalia vuoteen 2030 mennessä ja täysin fossiilitonta vuoteen 2050 mennessä.

Marraskuussa 2016 lanseerattu Jyväskylän kaupungin kestävän energian ja ilmaston toimintasuunnitelma mukaan Jyväskylän kaupunki sitoutuu vähentämään päästöjään 40 % vuoteen 2030 mennessä vuoteen 2012 verrattuna. Toimintasuunnitelma myös määrittelee keskeiset toimenpiteet joilla tavoitteisiin päästään. Yksi näistä toimenpiteistä on uusiutuvien polttoainneiden käytön lisääminen sähkön ja kaukolämmön tuotannossa, jossa uusiutuvien polttoainneiden osuus nostetaan 65 % vuoteen 2025 mennessä. (Jyväskylän kaupunki 2017)

Jyväskylän kaukolämpöä tarjoavan energialaitoksen Jyväskylän Energian ominaispäästökerroin kaukolämmölle oli vuonna 2016 168 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on kaukolämmön yhteistuotannon keskiarvoa 176 kgCO<sub>2</sub>/MWh hieman pienempi. Jyväskylän energian strategian mukaan tavoitteena on, että tuotannosta 70 % perustuu uusiutuviin polttoaineisiin vuoteen 2025 mennessä. Jyväskylän kahden voimalaitoksen pääpolttoaineena käytetään puuta ja turvetta. Vuonna 2016 51,9 % energiantuotannosta oli uusiutuvilla energialähteillä toteutettu. Jyväskylän energia myös omistaa Suomen Hyötytuuli Oy:stä 12,5 %. Hyötytuuli Oy:n energiatuotannon kapasiteetti tämän diplomityön kirjoitushetkellä on 500 000 MWh vuodessa. (Jyväskylän energia 2017)

SYK:n tekemän kestävän kehityksen kampuskierroksen yhteydessä Jyväskylän yliopiston kampuksen edustajat vastasivat, että kiinnostus uusiutuvan energian tuottaminen kampuksella koetaan tärkeäksi kysymykseksi ja hiilidioksidipäästöjä kampuksella ei mitata, eikä niiden suhteen ei ole asetettu tavoitteita.

### 5.2.3 Kuopion kampuspotentiali

Kuopion kampusalue sijaitsee Kuopiossa kahden kilometrin päässä keskustasta Savilahden rannalla. Kampus koostuu neljästä kiinteistökokonaisuudesta, joista tässä työssä tarkastellaan suurinta Savilahden kampusta. Savilahden kampuksen pinta-ala on noin 81 900 m<sup>2</sup>. Suurin vuokralainen Savilahden kampuksella on Itä-Suomen yliopisto. Itä-Suomen yliopiston Kuopion toimipisteissä sijaitsevat muun muassa terveystieteiden tiedekunta ja kauppateiden, yhteiskuntatieteiden ja joitakin luonnontieteiden laitoksia. Kampuksen viisi isointa rakennusta vastaa yli 90 % koko Savilahden kampuksen lämmitysenergiantarpeesta. Kyseiset rakennukset on rakennettu vuosien 1978 ja 2002 välillä. Savilahden kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot, hinnat ja päästökertoimet on esitetty taulukossa 10.

*Taulukko 10. Kuopion kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet*

Energiamuoto	Hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Kuopion Energia	14 718	57,3	188
Sähkö	Hansel	11 293	86,7	138,2

Lämmitysenergian kulutus taulukossa on sääkorjattu. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. (Energiateollisuus 2017b) Sähkön hinta saatiin kohteen energiamanagerilta. Sähkön hintaan sisältyy vuoden 2016 keskimääräinen sähköenergian hinta 50 €/MWh ja keskimääräinen siirtohintaa 9,2 €/MWh, jonka lisäksi siihen on laskettu mukaan sähkövero 22,5€/MWh ja arvio siirron perusmaksun ja tehomaksun osuudesta 5 €/MWh.

### **Aurinkosähkö**

Kuopion kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Aurinkosähkön tuotantopotentiaalia tarkasteltiin 5 suurimman rakennuksen katoilla. Kokonaispotentiali kampuksella on 689 kW<sub>p</sub> eli 620 MWh/a, joka on 6 % selvityksessä mukana olevien rakennusten vuoden 2016 kokonaissähkökulutuksesta. Kahden rakennuksen katolle voitaisiin rakentaa yli 200 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala.

SYK:llä on Kuopiossa omaa aurinkosähköntuotantoa Melania rakennuksessa, jonka katolle vuonna 2016 asennetun aurinkosähköjärjestelmän teho on 22 kW<sub>p</sub>.

Savilahden alueella on toteutettu myös Kuopion yliopistollisen sairaalarakennuksen toimesta aurinkosähkövoimala kesällä 2016. Järjestelmän kokonaisteho on  $182 \text{ kW}_p$  ja sen vuosituotanto on  $870\text{--}875 \text{ kWh/kW}_p$ , joka on lähellä SYK aurinkosähköselvityksessä käytettyä  $900 \text{ kWh/kW}_p$  arvoa.

### ***Vesistölämpöpumppu***

Savilahden kampusalue levittäytyy Savilahden vesistön molemmille puolille, kuten kuvasta 22 nähdään. Rakennusten etäisyys rannasta on Savilahden molemmilla puolilla vain 30 metriä. Savilahti on syvimmillään yli 7 metriä, joten se on soveltuva Uponorin lämpöpumppuratkaisulle, jossa imuputki viedään vähintään 4 metrin syvyyteen. Rakennusten suuren lämmitystarpeen takia Savilahti on otollinen paikka vesistölämpöpumppuratkaisulle.



Kuva 22. Savilahden syvyys ja syvän osan etäisyys rannasta (Navionics 2017)

### ***Maalämpöpumppu***

Geoenergiapotentiaali Kuopion kampuksen alueella on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan erittäin hyvä. Savilahden maapeitepaksuus vaihtelee 1 ja 30 metrin välillä. Maapeitteen todellisen paksuuden selvittämiseksi suositellaan lisätutkimuksia. Savilahden kampusalue ei Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Kallioperän kivilaji on kiillegneissi, jonka lämmönjohtavuus on  $2,9 \text{ W/mK}$ . Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2. Kampusalueella on paljon parkki- ja vihervälikkoja, jotka ovat potentiaalisia sijoituspaikkoja geoenergiakentälle.

### ***Kuopion alueelliset tavoitteet***

Kuopion Energian kaukolämmön päästökerroin vuonna 2016 oli 188 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on Suomen kaukolämmön yhteistuotannon keskiarvoa 176 kgCO<sub>2</sub>/MWh hieman suurempi. Kuopion Energian kaukolämmön tuotannossa käytettävä polttoainejakauma oli syyskuussa 2017 52 % biopolttoainetta ja 48 % turvetta. (Kuopion Energia 2017)

Kuopion kaupungin ilmastopoliittinen ohjelma on päivitetty viimeksi vuonna 2009. Sen mukaan Kuopion kaupunki vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 40 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Vuoden 2015 loppuun mennessä Kuopion kaupunki oli vähentänyt jo 35 % vuoden 1990 tasosta, joka suurelta osin johtuu fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämisestä ja niiden korvaamisesta biopolttoaineilla energiantuotannossa. (Kuopion kaupunki 2017) Vuonna 2016 Kuopion kaupunki liittyi FISU (Finnish Sustainable Communities) edelläkävijäkuntien verkostoon, joka tavoittelee hiilineutraaliutta, jätteettömyyttä ja globaalisti kestävästä kulutuksesta vuoteen 2050 mennessä. Kuopion kaupunki ei ole vielä tämän työn kirjoitushetkellä julkaissut tiekarttaansa resurssiviisauteen, joten konkreettiset tavoitteet ja tavoitteita edistävät toimet ovat vielä määrittelemättä. (Fisu 2017)

Kuopion Savilahdessa toteutettiin vuonna 2016 vuoden pituinen Savilahden vähähiilinen energiamalli- SaVe-yhteishanke. Hankkeessa kartoitettiin vähäpäästöisten energiamuotojen käyttömahdollisuuksia Savilahden alueella. Hankkeessa olivat kaupungin lisäksi mukana muun muassa Kuopion Energia ja alueella toimivat kiinteistöomistajat. SAVE-hankkeen jatkoksi alueella on käynnistynyt vuoden 2016 lopulla SMARA-hanke (Savilahden smarteimmat ratkaisut), jossa pyritään ylittämään perinteisiä kaupunkisuunnittelun rajoja. (Savehanke 2017)

SYK:n tekemän kestävän kehityksen kampuskierroksen yhteydessä Kuopion yliopiston kampuksen edustajat vastasivat, että kiinnostus uusiutuvan energian tuottaminen kampuksella koetaan ydinasiaksi ja hiilidioksidipäästöjä kampuksella mitataan, mutta niiden suhteen ei ole asetettu tavoitteita.

### **5.2.4 Rovaniemen kampuspotentiali**

Rovaniemen kampusalue pitää sisällään pinta-alaltaan 37 650 m<sup>2</sup> kiinteistökokonaisuuden ja sijaitsee Harjulammen rannalla. Rovaniemen kampuksella toimii Lapin yliopisto, jossa on kasvatustieteiden, oikeustieteiden, taiteiden ja yhteiskuntatieteen tiedekunnat. Rakennuksen A-E-osat on rakennettu eri vuosikymmenillä, pääosin vuosien 1984–1990 välissä. F-osa on uudempi, vuonna 2006 valmistunut rakennus. Kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot, hinnat ja päästökertoimet on esitetty taulukossa 11.

*Taulukko 11. Rovaniemen kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet*

Energiamuoto	Hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	Päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Napapiirin Energia ja vesi Oy	5 409	57,8	172
Sähkö	Energiapolar Oy	4 816	ei tiedossa	277

Lämmitysenergian kulutus taulukossa 10 on sääkorjattu. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun



### ***Aurinkosähkö***

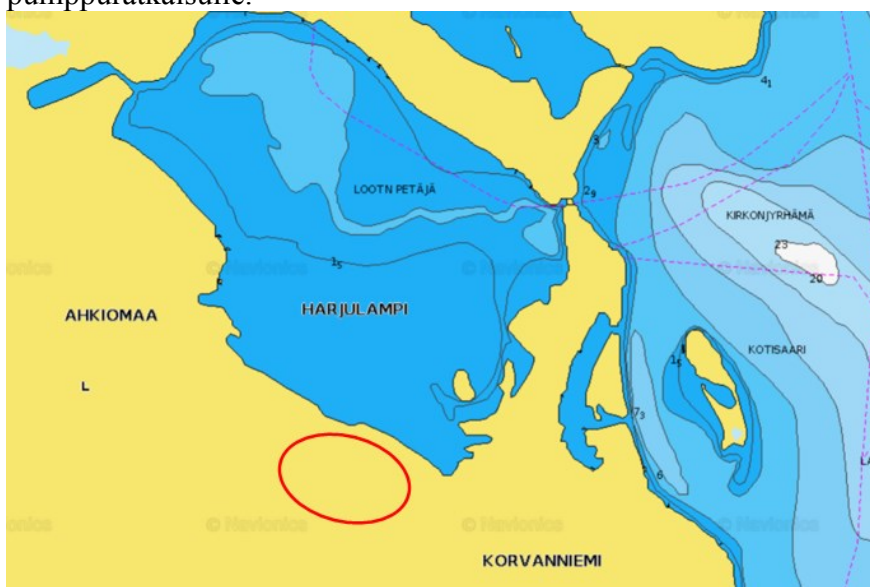
Rovaniemen alueen ilmakuvat olivat epäselviä ja vaikeuttivat potentiaalin arviointia. Tästä johtuen kaikki potentiaali laskettiin B-potentiaaliksi eikä täten ole mukana tässä diplomityössä tarkasteltavassa aurinkosähköpotentiaalissa. Tarkempia tietoja löytyy aurinkosähköselvityksestä liitteessä 1.

### ***Maalämpöpumppu***

GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun perusteella Rovaniemen geoenergiapotentiaalia on vaikea määrittää, koska kampus sijaitsee potentiaalirajojen raja-alueella. Kampusen alueella maapeitepaksuus vaihtelee välillä 1-10m ja alueen kivilaji on kiilleliuske, jonka lämmönjohtavuus on 2,8 W/mK. Kampusalueella on parkkialueita, jotka soveltuisivat energia-kaivokentille. Rovaniemen kampusalue ei Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2.

### ***Vesistölämpöpumppu***

Rovaniemen kampusalue sijaitsee Harjulammen rannalla. Harjulampi on matala, vain metrin syvyinen, kuten käy ilmi kuvasta 23. Harjulampi ei ole otollinen Uponorin vesistölämpöpumppuratkaisulle.



Kuva 23. Rovaniemen kampusen viereisen vesialueen syvyys (Navionics 2017)

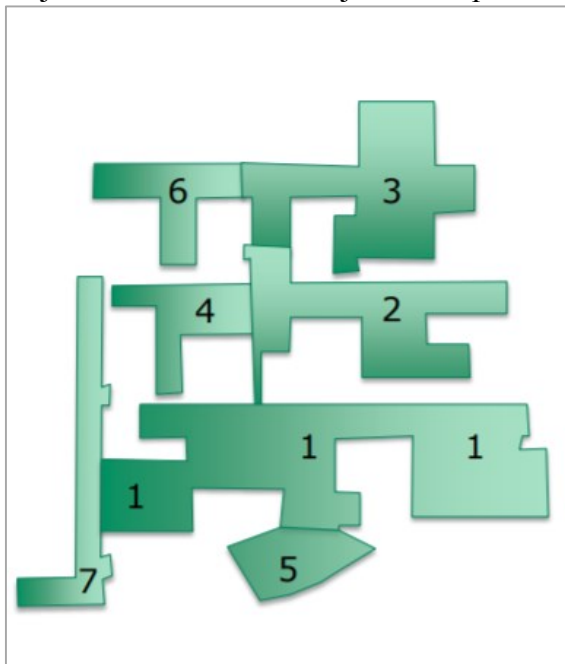
### ***Rovaniemen alueelliset tavoitteet***

Rovaniemen vuonna 2011 päivätyn ilmasto-ohjelman mukaan uusiutuvien energialähteiden osuus energiantuotannossa 5-kertaistetaan vuoteen 2015 mennessä ja kolme viidesosaa kaukolämmöstä tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä. (Rovaniemen kaupunki 2011)

Vuonna 2016 polttoainejakauma Napapiirin Energia ja Vesi Oy:n (NEVE) voimalaitoksissa oli: Biopolttoaineet 58 %, turve 41 % ja öljy ja kivihiili 1 %. Biopolttoaineiden käyttö on lisääntynyt vuosittain, selviää NEVE:n ympäristöpäämäärät ja tavoitteet 2016 julkaisusta, jonka mukaan vuonna 2012 biopolttoaineiden osuus oli 38,4 %. (Napapiirin energia 2017)

### 5.2.5 Lappeenrannan kampuspotentiaali

Lappeenrannan kampusalue sijaitsee Lappeenrannan länsiosassa sijaitsevassa Skinnarilan kaupunginosassa. Lappeenrannan kampusalue koostuu vain yhdestä kampuksesta, jota kutsutaan Skinnarilan kampukseksi. Skinnarilan kampus sijaitsee Saimaan rannalla ja sen pinta-ala on noin 68 900 brm<sup>2</sup>. Suurin vuokralainen kampuksella on Lappeenrannan teknillinen yliopisto, jossa toimii energiatekniikan, insinööritieteiden ja kauppätieteiden korkeakoulut. Skinnarilan kiinteistökokonaisuus koostuu 7 rakennusvaiheesta, jotka on rakennettu vuosien 1974 ja 2005 välillä. Rakennusvaihe 1 on peruskorjauksessa tämän työn kirjoitushetkellä. Kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot, hinnat ja päästökertoimet on esitetty taulukossa 12 ja rakennusvaiheiden sijainti kampuksella on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Skinnarilan kampuksen rakennusvaiheet 1-7

Taulukko 12. Lappeenrannan kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet

Energiamuoto	Hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Lappeenrannan Energia	6 763	65,1	109
Sähkö	Imatran seudun sähkö	5 400	72,7	0

Lämmitysenergian kulutus taulukossa on säädöksiä. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. Lappeenrannan teknillisen yliopiston solmi maaliskuussa 2016 sähkösopimuksen Imatran seudun sähkön kanssa ja se ostaa täysin uusituvilla tuotettua sähköä. Tästä johtuen Skinnarilan kampuksen sähkön päästökerroin on nolla. Lappeenrannan kampuksella on jo jonkin verran uusiutuvaa energiaa käytössä. Nämä on esitelty seuraavissa alakappaleissa potentiaalin yhteydessä.

#### Aurinkosähkö

Lappeenrannan kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Aurinkosähkön tuotantopotentiaalia tarkasteltiin kaikkien seitsemän rakennusvaiheen katoilla. Kokonaispotentiaali kampuksella on 703 kW<sub>p</sub> eli 633 MWh/a, joka on 12 %



koko Skinnarilan kampuksen sähkönkulutuksesta vuonna 2016. Suurin potentiaali on rakennusvaiheen 1 katolla, jolle voitaisiin asentaa yli 300 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala. Myös rakennusvaiheiden 5 ja 7 katoille voitaisiin asentaa yli 100 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala.

Skinnarilan kampuksella on jo aurinkosähkön tuotantoa. Vuonna 2016 kampuksella tuotettiin 125 MWh aurinkosähköä, joka vastasi noin 2 % kokonaissähkönkulutuksesta. Rakennusvaihe 3:n katolla on yhteensä 90 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala. Tästä 51,5 kW<sub>p</sub> on kattoasennuksella toteutettu, jossa paneelit on suunnattu etelään 15° asteen kallistuksella ja 39 kW<sub>p</sub> on toteutettu seinäasennuksella katon korkeamman osan seinille 90° asteen kulmaan suuntauksena etelä ja länsi. Skinnarilan alueella on myös 108 kW<sub>p</sub> autokatosvoimala ja kaksi alle 10 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimalaa.

### ***Vesistölämpö***

Skinnarilan kampusalue sijaitsee Saimaan rannalla, mutta SYK:n tontti ei ylety rantaan asti. Kampusalueen rakennuksilta rantaan on noin 100 metriä. Rantatontin omistaa Lappeenrannan kaupunki. Vesistön syvyys on Uponorin lämpöpumppuratkaisulle riittävä, 4m, noin 200 metrin päässä rannasta. Vesistön syvyys on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Skinnarilan läheisen vesistön syvyys (Navionics 2017)

### ***Maalämpö***

Geoenergiapotentiaali Lappeenrannan kampuksen alueella on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan kiitettävä. Maapeitteen paksuus on vaikea arvioida hakkupalvelun kartan avulla, sillä Skinnarila sijaitsee maapeitealueiden rajalla. Maapeitteen paksuudeksi oletetaan kartan mukaan 30–50 metriä, joka vähentää maalämpöpotentiaalia nostoen geoenergiakaivojen porauskustannuksia. Maapeitteen todellisen paksuuden selvittämiseksi suositellaan lisätutkimuksia. Skinnarilan kampusalue sijaitsee Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella pohjavesialueen rajalla. Kallioperän kivilaji on rapakivigraaniitti, joka yleisesti Lappeenrannan alueella on GTK:n tietojen mukaan vibogriittia, jonka lämmönjohtavuus on erinomainen 3,5 W/mK. Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2. Rakennusvaiheen 6 pohjoispuolella on iso parkkialue, jonne olisi mahdollista sijoittaa geoenergiakenttä.

### ***Lappeenrannan alueelliset tavoitteet***

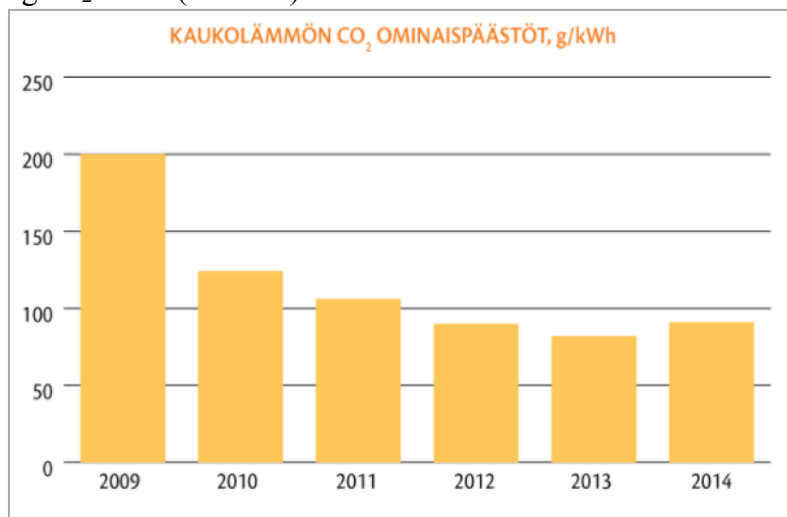
Lappeenranta on Joensuun ohella toinen SYK kampusten HINKU-kunnissa, joiden yhteisenä tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 80 % vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Lappeenranta liittyi HINKU-kuntiin vuonna 2014. HINKU-kuntien lisäksi Lappeenranta kuuluu FISU edelläkävijäkuntien verkostoon. Vuonna 2015 julkaistun

Lappeenrannan HINKU-tiekartan mukaan kaupunki tavoittelee 50 % päästövähennemää rakennusten lämmityksen ja sähkön kulutuksen päästöissä, ja 160 % nostoa uusiutuvan energian tuotannossa. Toimenpidesuunnitelmaan kuuluu muun muassa kaupungin asentamien ison kokoluokan aurinkosähkövoimalaitokset, yhteisteholtaan 100 MW, kaukolämmön päästökertoimen pienentäminen 35 % ja 32 uutta 3 MW tuulivoimalaa. (HINKU 2017)(FISU 2017)

Lappeenrannan kaukolämpöverkon omistaa Lappeenrannan Energia. Kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästökerroin vuonna 2016 oli 109 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on reilusti alle Suomen keskiarvon 176 kgCO<sub>2</sub>/MWh.

Kaukolämmön tuotannossa vuonna 2016 käytetyistä polttoaineista 69,7 % oli biopolttoaineita. Biopolttoaineiden lisäksi osa kaukolämmöstä tuotetaan teollisuuden ylijäämälämmöllä, maakaasulla, turpeella ja alle 1 % öljyllä. (Lappeenrannan Energia 2017)

Lappeenrannan kaukolämmön päästökerroin on pienentynyt huomattavasti vuodesta 2009 vuoteen 2013. Vuonna 2013 kaukolämmön päästökerroin oli alimmillaan vain 82 kgCO<sub>2</sub>/MWh(kuva 26).



Kuva 26. Lappeenrannan Energian kaukolämmön päästökertoimen kehitys vuosien 2009 ja 2014 välillä (Lappeenrannan Energia 2017)

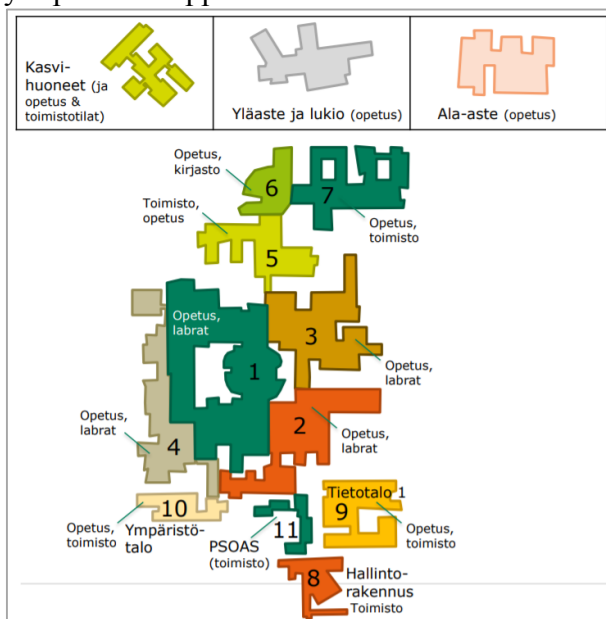
SYK:n tekemän kampuskierroksen yhteydessä Lappeenrannan kampuksen edustajat vastasivat, että kiinnostus uusiutuvan energian tuottamiseen kampuksella on yliopiston ydinasiaa ja CO<sub>2</sub>-päästöjä mitataan, mutta niiden vähentämiselle ei ole asetettu konkreettisia tavoitteita.

### 5.2.6 Oulun kampuspotentiaali

Oulun kampus koostuu kahdesta erillisestä kampuksesta: Linnanmaan kampuksesta ja Kontinkankaan kampuksesta. Molempien kampusten yhteenlaskettu pinta-ala on noin 241 400 brm<sup>2</sup>. Kampusten suurin vuokralainen on Oulun yliopisto.

Linnanmaan kampus sijaitsee noin viisi kilometriä Oulun keskustasta pohjoiseen. Sen pääkampusrakennus on suuri kokonaisuus, joka koostuu 11 rakennusvaiheesta. Lisäksi kampukseen kuuluu 3 erillistä rakennusta. Linnanmaan kampus on esitetty kuvassa 27. Kampuksen peruskivi muurattiin vuonna 1970. Rakennusosat 1-3 valmistuivat 1973–1977, neljäs 1980, viides 1983, kuudes 1987, seitsemäs 1992 ja kahdeksas 1998. Muut rakennukset ovat

valmistuneet 2000-luvulla. Linnanmaalla sijaitsee arkkitehtuurin, teknillinen, luonnontieteellinen, humanistinen, kasvatustieteiden, tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta sekä Oulun yliopiston kauppakorkeakoulu.



Kuva 27. Linnanmaan kampuksen rakennusvaiheet ja erillISRakennukset

Kontinkankaan kampus sijaitsee kaksi kilometriä Oulun keskustasta itään Oulun yliopistol-lisen sairaalan lähetytyillä. Kampus on kooltaan huomattavasti Linnanmaan kampusta pie-nempi. Kontinkankaan kampuksella toimii lääketieteellinen ja biokemian ja molekyyli-lää- ketieteen tiedekunta. Kampuksen laitosrakennukset 1 ja 2 on rakennettu 1970-luvun alussa. Kampukselle valmistuu 2017 vuoden aikana hammaslääketieteen uudisrakennus. Koko Ou-lun kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot, hinnat ja päästökertoimet on esitetty taulu-kossa 13.

Taulukko 13. Oulun kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet

Energiamuoto	hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Oulun Energia	38 420	44,7	220
Sähkö	Hansel	27 090	91	138,2

Lämmitysenergian kulutus taulukossa 13 on säädörjattu. Kaukolämmön hinta perustuu ener-giateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. Sähkön hinta on saatu kohteen energiamanagerilta.

Tässä diplomityössä käsiteltävissä Oulun kampuksen kiinteistöissä ei ole toistaiseksi omaa uusiutuvan energian tuotantoa.

### Aurinkosähkö

Oulun kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Aurinkosähkön tuotantopotentiaalia tarkasteltiin kaikkien seitsemän rakennusvaiheen ka-toilla. Kokonaispotentiaali kampuksella on 2 916 kW<sub>p</sub> eli 2625 MWh/a, joka on 11 % koko Oulun kampuksen sähkönkulutuksesta vuonna 2016. Suurin potentiaali on rakennusvaiheen 1 katolla, jolle voitaisiin asentaa yli 700 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala. Yli 100 kW<sub>p</sub> aurin-kosähkövoimaloita voitaisiin Oulun kampuksella asentaa yhteensä 8.

Oulun kampuksella ei ole aurinkosähkön tuotantoa tämän diplomityön kirjoitushetkellä.

### ***Vesistölämpöpumppu***

Oulun kaupunki sijaitsee meren rannalla, mutta kumpikaan kampuksista ei sijaitse tarpeeksi lähellä, alle 500 metrin päässä, vesistöä.

### ***Maalämpöpumppu***

Geoenergiapotentiaali Oulun kampuksen alueella on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan hyvä Linnanmaalla ja kiitettävä Kontinkankaalla. Kontinkankaan maapeitepaksuus on 1-10 metriä, kun taas Linnanmaa maapeitepaksuus vaihtelee välillä 10–30 metriä hakkupalvelun kartan mukaan. Oulun erityispiirre on sen maapeitepaksuus, joka vaihtelee hyvin voimakkaasti. Kymmenien metrien maapeitepaksuudet lisäävät maaenergiakaivojen investointikustannuksia ja vaikuttavat näin maalämmön kannattavuuteen. Tästä johtuen kampusalueilla suositellaan tehtävän lisätutkimuksia maapeitepaksuuteen liittyen potentiaalilin selvittämiseksi. Oulun kampusalueet eivät Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Kallioperän kivilaji on graniitti, jonka lämmönjohtavuus on erinomainen 3,55 W/mK. GTK teki vuonna 2013 Oulun geoenergiapotentiaalilin kartoituksen, jonka tuloksena sekä Kontinkangas että Linnanmaa sijoittuivat luokittelun perusteella hyvään luokkaan niiden kallioperän lämmönjohtavuuden perusteella. (Breilin et al. 2013) Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2.

Linnanmaan kampuksella tilaa geoenergiakentälle löytyy lähinnä alueen parkkialueilta, joita löytyy kampuksen ympäristöstä. Kontinkankaan tontti on Linnanmaan tonttia vieläkin ahtaampi.

Geoenergiapotentiaaliltaan Oulun molemmat kampusalueet hyviä, mutta Oulun Energian kaukolämmön hinta on koko Suomen matalin, mikä vaikuttaa negatiivisesti lämpöpumppuratkaisujen takaisinmaksu-aikaan ja potentiaaliin.

### ***Oulun alueelliset tavoitteet***

Oulun seudun ilmastostrategia on vuodelta 2009. Sen mukaan strategian päätavoite on kääntää kasvihuonekaasupäästöt pysyvään laskuun. Ilmastostrategian lisäksi Oulun kaupunki on allekirjoittanut Euroopan kaupunginjohtajien ilmastopimuksen vuonna 2011, joka velvoittaa vähentämään hiilidioksidipäästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta 2020 mennessä. Oulun kaupungin vuonna 2014 hyväksytyn ympäristöohjelman tavoitteena ovat kasvihuonekaasupäästöt asukasta kohti laskettuna 5,1 tCO<sub>2</sub>-ekv/asukas vuoteen 2020 mennessä. (Oulun kaupunki 2014)(Oulun kaupunki 2017)

Benviroc Oy:n tekemän Oulun kasvihuonekaasupäästöraportin mukaan päästöt asukasta kohti olivat 7,0 tCO<sub>2</sub>-ekv/asukas. (Benviroc Oy 2017)

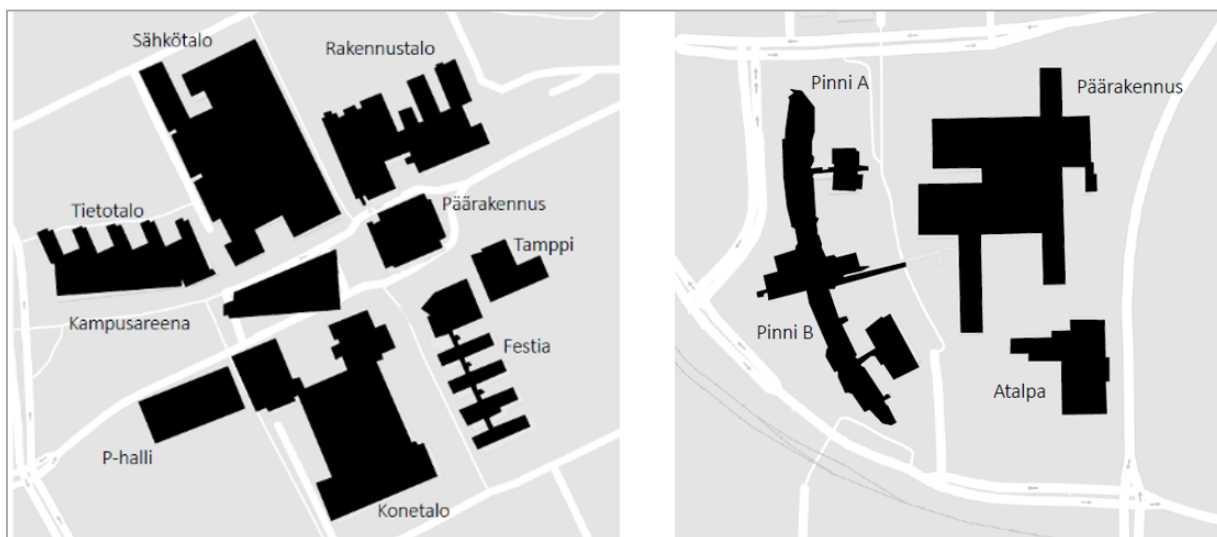
Oulun kaupunki allekirjoitti uuden kaupunginjohtajien ilmastopimuksen vuonna 2016, joka tavoittelee 40 % hiilidioksidipäästöjen vähentämistä vuoteen 2030 mennessä. (Oulun kaupunki 2017) (Covenant of Mayors for Climate & Energy 2016)

Oulun kaukolämpöverkon omistaa Oulun Energia. Valtaosa kaukolämmöstä (63 %) tuotetaan Toppilan voimalaitoksessa, joka käyttää polttoaineenaan puuta ja turvetta. Vuonna 2016 Oulun energian myymästä kaukolämmöstä 53 % oli tuotettu turpeella, 36 % puulla, 6 % jätteillä ja loput öljyllä ja muilla polttoaineilla. Kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästökerroin vuonna

2016 oli 220 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on yli Suomen keskiarvon 176 kgCO<sub>2</sub>/MWh. (Oulun energia 2017) Oulun Energia tavoittelee sähkön- ja lämmöntuotantonsa muuttamista täysin hiilineutraaliksi vuoden 2050 loppuun mennessä. Oulun Energia uudistaa toimintamallejaan ja oli Suomessa ensimmäisiä yrityksiä, joka aloitti aurinkopaneeli-liiketoiminnan. (Oulun energia 2017a)

### 5.2.7 Tampereen kampuspotentiaali

Tampereen kampusalue koostuu tässä työssä Hervannan ja Keskustan kampuksista. Hervannan kampuksella suurimpana vuokralaisena toimii Tampereen teknillinen yliopisto TTY. Keskustan kampuksella suurimpana vuokralaisena toimii Tampereen yliopisto TAY. Kampusten bruttopinta-ala on yhteensä n. 223 000 brm<sup>2</sup>. Tampereen keskustakampuksella on humanistisia tiedekuntia ja liikuntarakennus. Hervannan kampuksella sen sijaan toimii suurimpana vuokralaisena teknillinen korkeakoulu jonka johdosta siellä on paljon laboratorio-tiloja. Keskustan ja Hervannan kampusten rakennukset on rakennettu eri vuosikymmeninä vanhimpien ollessa vuodelta 1960 ja uusimpien vuodelta 2015. Rakennukset on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Hervannan kampuksen (vas.) ja Keskustan kampuksen rakennukset

Tampereen kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot on esitetty taulukossa 14. Lämmitysenergian kulutus taulukossa on sääkorjattu. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. Tampereen sähkölaitoksella on kaukolämmön energiamaksussa käytössä kausihinnointi. Taulukossa esitetty hinta on tilastointiajankohtaa vastaava vuosikustannuksia kuvaava energiamaksu johon on lisätty tehomaksu. Sähköenergian hinta on vuodelta 2015 ja se saatiin kohteiden energiamanagerilta.

Taulukko 14. Tampereen kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet

Energiamuoto	Hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Tampereen sähkölaitos	23 326	61,4	186
Sähkö	Hansel	22 794	80	138,2

### ***Aurinkosähkö***

Tampereen kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Aurinkosähkön tuotantopotentiaalia tarkasteltiin 11 rakennuksen katolla. Pois tarkastelusta jätettiin vain pysäköintitalo, jolla ei ole kattoa, ja uudisrakennus Kampusareena. Kokonaispotentiaali kampuksella on 1302 kW<sub>p</sub> eli 1171 MWh/a, joka on 6 % selvityksessä mukana olevien rakennusten vuoden 2016 kokonaissähkönkulutuksesta. Kuuden rakennuksen katolle voitaisiin rakentaa yli 100 kW<sub>p</sub> aurinkosähkövoimala ja Hervannan kampuksen Rakennustalon katolle jopa 322 kW<sub>p</sub> voimala.

Tampereen kampuksella on käytössä uusiutuvaa energiaa kahdessa rakennuksessa. Hervannan kampuksen uudisrakennuksen Kampusareenan julkisuun on asennettu 45 ° suuntauskulmalla 82 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmä tuotti vuonna 2016 45,8 MWh. Tampereen Kaupin kampusta ei käsitellä tässä työssä, mutta siellä sijaitsee SYK:n toinen Tampereella sijaitseva aurinkosähköjärjestelmä uudisrakennus Arvo2 katolla. Järjestelmän teho on 42 kW<sub>p</sub> ja vuosituotto oli 31,9 MWh elokuun 2016 ja heinäkuun 2017 välisenä aikana

### ***Maalämpöpumppu***

Geoenergiapotentiaali Hervannan kampuksella on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan kiitettävällä tasolla. Hervannan alueen maapeitepaksuus vaihtelee välillä 0-1m Hakupalvelun kartan mukaan ja porareiden kairaustietojen mukaan kampusta lähimmät maanpeitepaksuudet vaihtelevat välillä 3-34m. Kairaustiedot ovat kuitenkin verrattain kaukana kampusalueesta ja maapeitepaksuus voi vaihdella kiinteistöjen välillä reilustikin. Hervannan kampusalueen kallioperän kivilaji on porfyryinen granodioriitti, jonka lämmönjohtavuus on erittäin hyvä 3,19 W/mK.

Geoenergiapotentiaali Keskustan kampuksella on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan hyvällä tasolla. Hervannan alueen maapeitepaksuus vaihtelee välillä 10-50m Hakupalvelun kartan mukaan ja porareiden kairaustietojen mukaan kampusta lähimmät maanpeitepaksuudet vaihtelevat välillä 8-32m. Keskustan kampusalueen kallioperän kivilaji on biotiittiparagneissi, joka voidaan lukea kiilleliuskeeksi. Sen lämmönjohtavuus on 2,8 W/mK.

Kumpikaan kampuksista ei Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Tarkemmat tiedot molempien kampusten maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2.

Keskustan kampusalueella on parkkipaikkoja, jotka mahdollisesti soveltuisivat geoenergiakentiksi. Energiamanagerin tietojen mukaan kampukselle on mahdollisesti suunnitteilla lisärakentamista, joka estää parkkialueiden käyttöönoton geoenergiakaivoja varten näillä näkymin. Uudisrakentamisen yhteydessä tosin maalämpövaihtoehto kannattaa huomioida, sillä kaivot voidaan myös sijoittaa rakennuksen alle.

Hervannan kampuksella otollisia paikkoja geoenergiakentälle on Kampusareenan edessä oleva avoin viheralue ja Atalpa-rakennuksen parkkialue.

### ***Vesistölämpöpumppu***

Kumpikaan Tampereen kampuksista ei sijaitse tarpeeksi lähellä vesistöjä, jotta niiden hyödyntäminen lämmönlähteenä olisi teknistaloudellisesta näkökulmasta järkevää.

### ***Tampereen alueelliset tavoitteet***

Tampereen kaupunki päivitti vuonna 2017 hiilineutraaliuden tavoitteitaan ja tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2030 mennessä ja asukaskohtaisten hiilidioksidipäästöjen vähentämistä 40 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. (Tampereen kaupunki 2017)

Tampereen kaukolämpöverkon omistaa Tampereen sähkölaitos. Kaukolämmön CO<sub>2</sub>päästökerroin vuonna 2016 oli 186 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on hieman yli Suomen keskiarvon 176 kgCO<sub>2</sub>/MWh. Sähkölaitoksen tavoitteena on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 45 % 2020 mennessä 1990 tasoon nähden ja nostaa uusiutuvan energian osuus polttoaineissaan 43 % vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2016 uusiutuvan energian osuus tuotannosta oli 39 %, josta suurin osa noin 29 % on biopolttoaineita. (Tampereen sähkölaitos 2017a) (Tampereen sähkölaitos 2017b)

### **5.2.8 Turun kampuspotentiaali**

Turun kampusalue sijaitsee Turussa Aurajoen läheisyydessä Tuomaan sillan ja Kirkkosillan välissä Aurajoen itäpuolella. Turun kampus koostuu yhteensä 12 kiinteistökokonaisuudesta, joissa suurimpina vuokralaisina ovat Turun yliopisto ja Åbo Akademi. Kampuksen bruttopinta-ala on yhteensä n. 190 000 brm<sup>2</sup>. Turun yliopisto on kampusalueen suurin vuokralainen. Yliopisto on viime aikoina tiivistänyt toimintaansa ja tästä syystä kampuksella on jonkin verran rakennuksia tyhjillään. Kampusalueella on myös muutamia sisäilmaongelmista kärsiviä rakennuksia, joista yksi puretaan ja rakennetaan uudelleen seuraavien vuosien aikana. Juslenia 2.0:n hankesuunnittelu on käynnissä diplomityön teon hetkellä. Turun kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot on esitetty taulukossa 15.

*Taulukko 15. Turun kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet*

Energiamuoto	hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Turku Energia	19 756	67,7	351
Sähkö	Hansel	17 106	ei tiedossa	138,2

Lämmitysenergian kulutus taulukossa on sääkorjattu. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. (Energiateollisuus 2017b) Taulukossa olevat kulutustiedot pitävät sisällään seuraavat kiinteistökokonaisuudet, jotka sijaitsevat Turussa:

- Dentalia
- Yliopistonmäen kampus
- Fennicum
- Sanitas
- Kupittaaan kampus
- Kasarmialueen kampus
- Kauppakorkeakoulu
- Horttokuja 2
- Villa Hortus
- Sirkkalan kampus
- Normaalikoulu
- Axelia



### ***Aurinkosähkö***

Turun kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Kokonaispotentiaali kampuksella on 631 kW<sub>p</sub> eli 568 MWh/a, joka on kampuksen kokoon nähden suhteellisen pieni luku ja vain 3 % selvityksessä mukana olevien rakennusten vuoden 2016 kokonaissähkönkulutuksesta. Rakennuskanta on jokseenkin vanha ja kattojen muoto epäedullinen aurinkosähkön asentamiselle.

### ***Vesistölämpöpumppu***

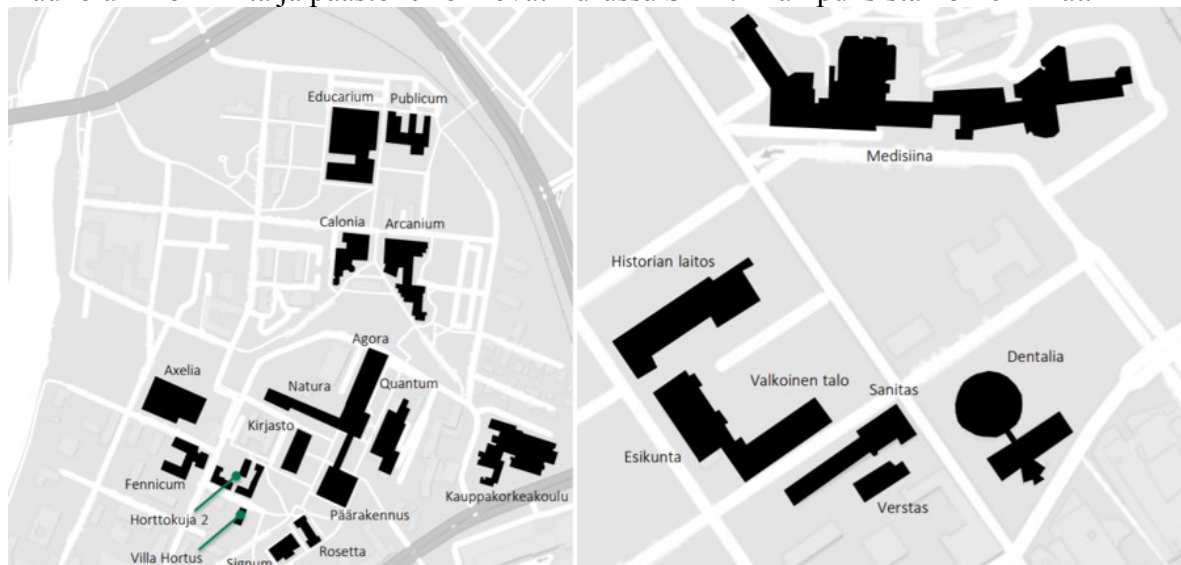
Turun kampusalue sijaitsee Aurajoen läheisyydessä. Aurajoki on kuitenkin suhteellisen matala joki. Joen syvyys vaihtelee puolen metrin ja neljän metrin välillä. Tuomaan sillan ja Kirkkosillan välillä joen syvyys on maksimissaan 3,5 metriä. (Navigeo Oy 2002) Uponor vesistölämpöpumppuratkaisu vaatii imuputken sijoitettavan yli neljän metrin syvyyteen, joten Aurajoki ei ole otollinen vesistölämpöpumpulle. Minkään SYK omistaman rakennuksen tontti ei myöskään yllä rantaan asti. Näistä syistä johtuen Turun vesistölämpöpotentiaalia ei kartoitettu tämän tarkemmin.

### ***Maalämpöpumppu***

Geoenergiapotentiaali Turun kampuksen alueella on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan kiitettävällä tasolla. Turun yliopiston alueen maapeitepaksuus vaihtelee välillä 0-30m Hakkupalvelun kartan mukaan ja porareiden kairaustietojen mukaan 2,6 ja 27 metrin välillä. Turun kampusalue ei Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Kallioperän kivilaji on kiilleliuske, jonka lämmönjohtavuus on 2,8 W/mK. Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2.

Kampusalue on levittänyt varsin laajalle alueelle, kuitenkin siten, että kiinteistökokonaisuudet ovat varsin tiiviisti rakennettuja. Kasarmialueella (kartalla Educarium, Publicum, Colonia ja Arcanum) on paljon puistoja ja parkkialueita mahdollista geoenergiakenttää varten. Yliopistonmäki, joka sijaitsee Kasarmialueen alapuolella kartassa, on tiiviimmin rakennettu ja tilaa geoenergiakentälle on vähemmän. Sirkkalan kasarmialueen (kartassa oikealla rakennukset: Historian laitos, esikunta ja valkoinen talo) piha-alue olisi varsin otollinen geoenergiakentälle, mutta ympäröivien rakennusten lämmitysenergiankulutus on hyvin vähäistä kampuksen muihin rakennuksiin verrattuna.

Kaukolämmön hinta ja päästökerroin ovat Turussa SYK:n kampuksista korkeimmat.



Kuva 29. Turun kampuksen rakennukset kartalla



### ***Turun alueelliset tavoitteet***

Turun kaupungin ilmastostrategiassa 2009 on määritetty, että Turku on hiilineutraali 2040 mennessä. Turussa valmistellaan uutta kestävän energian ja ilmaston toimintasuunnitelmaa, joka on tarkoitus hyväksyä kaupungin valtuustossa kesäkuuhun 2018 mennessä. (Turun kaupunki 2017)

Turun kaukolämpöä tarjoaman energialaitoksen Turku Energian ominaispäästökerroin kaukolämmölle on korkein SYK:n kaupungeista, 351 tCO<sub>2</sub>/MWh. Turku Energian ympäristöohjelmaan on kirjattu tavoitteeksi myydyin lämmön ominaispäästökerroin 225 tCO<sub>2</sub>/MWh vuoteen 2020 mennessä ja tämän lisäksi uusiutuvan ja hiilidioksidipäästöttömän energian osuuden tavoite on 50 %. Tavoitteena energialaitoksella on Suomen alhaisimmat hiilidioksidipäästöt Suomen suurimpiin kaupunkeihin verrattuna. (Turku Energia 2017) Vuonna 2016 kuitenkin 66 % kaukolämmön tuotannossa käytetyistä polttoaineista oli hiiltä ja vain 13 % oli tuotettu biopolttoaineilla. (Turku Energia 2017a)

Turussa on valmistumassa uusi monipolttoainelaitos 2017 syksyllä, joka korvaa osittain nykyisen 50 vuotiaan hiilivoimalaitoksen. Vielä ei ole julkista tietoa siitä, kuinka paljon monipolttoainelaitos vaikuttaa Turku Energian tuottaman kaukolämmön energijakaumaan ja miten paljon kaukolämmön päästökerroin pienenee.

Kaukolämmön hinnoittelu muuttuu kausihinnoitteluksi 1.3.2018 alkaen. Samalla Turku energia nostaa tehomaksua 9 % ja laskee energiamaksua. Energiamaksun liukuva hintaennuste julkaistaan viimeistään helmikuussa 2018. (Turku Energia 2017b)

### **5.2.9 Vaasan kampuspotentiaali**

Vaasan kampusalue sijaitsee Vaasan Palosaassa meren rannalla. Kampus koostuu kahdesta eri kiinteistökokonaisuudesta, Fabriikista ja Palosaaren kampuksesta. Vuokralaisena kampuksella on Vaasan yliopisto, joka pitää sisällään filosofian, kauppatieteellisen ja teknillisen tiedekunnan. Kampuksen rakennukset on esitetty kuvassa 30. Kampuksen suurimmat rakennukset on rakennettu eri vuosina, Fabriikki on rakennettu vuonna 1860, Tervahovi vuonna 1994 ja Tritonia vuonna 2001. Kampuksen rakennusten yhteenlaskettu bruttopinta-ala on noin 34 300 m<sup>2</sup>. Kampuksen energiankulutuksen lähtötiedot, hinnat ja päästökertoimet on esitetty taulukossa 16.



**Kuva 30. Vaasan kampuksen rakennukset**

**Taulukko 16. Vaasan kampuksen energiankulutus, -hankinta ja -päästökertoimet**

Energiamuoto	Hankinta	Kulutus 2016 [MWh]	Hinta alv 0 % [€/MWh]	päästökerroin 2016 [kgCO <sub>2</sub> /MWh]
Kaukolämpö	Vaasan sähkö Oy	3 464	48,7	77
Sähkö	Hansel	2 349	99,6	138,2

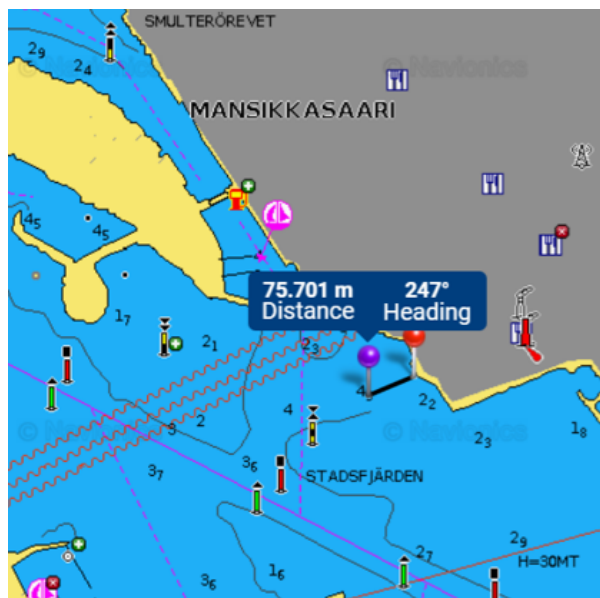
Lämmitysenergian kulutus taulukossa 16 on säätökorjattu. Kaukolämmön hinta perustuu energiateollisuuden hintatilastoon, joka on julkaistu 13.3.2017, ja se pitää sisällään energia- ja tehomaksun. (Energiateollisuus 2017b) Sähkön hintatieto saatiin kampuksen kiinteistöpäälliköltä.

### ***Aurinkosähkö***

Vaasan kampusalueen aurinkosähköenergian potentiaalin tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 1. Selvityksessä tutkittiin Vaasan kampuksen kaikki 6 rakennusta. Kampusalueella on paljon taseroja katoilla, jotka aiheuttavat varjoja katon toisille osille. Tämän lisäksi osa rakennusosista on matalia, jolloin läheisten puiden varjot vaikuttavat aurinkosähköpotentiaaliin myös laskevasti. Kokonaispotentiaali kampuksella on 213 kW<sub>p</sub> eli 192 MWh/a, joka on 8 % selvityksessä mukana olevien rakennusten vuoden 2016 kokonaissähkönkulutuksesta. Potentiaaliltaan suurin on Fabriikki, jonka katolle voitaisiin asentaa 81 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmä.

### ***Vesistölämpöpumppu***

Vaasan kampusalue sijaitsee meren rannalla ja Palosaaren kampuksen tontti ylettyy rantaan asti. Vesistön syvyys vaihtelee Navionicsin merikartan mukaan 1-4 metrin välillä (kuva 31). Uponor vesistölämpöpumppuratkaisu vaatii imuputken sijoitettavan vähintään 4 metrin syvyyteen, jotta veden lämpötila ei pääse laskemaan alle 1 °C asteen edes talvella. Kampuksen edessä olevan vesialueen syvyys tulisi selvittää tarkemmin, jotta voidaan varmistaa vesistölämpöpumpun käyttöönoton potentiaali.



Kuva 31. Vaasan kampuksen vesialueen syvyys (Navionics 2017)

### ***Maalämpöpumppu***

Geoenergiapotentiaali Vaasassa on GTK:n geoenergiapotentiaaliluokittelun mukaan kiitettävä. Kampuksen alueella maapeitepaksuus vaihtelee välillä 1-10m ja alueen kivilaji on biotiittiparagneissi, joka voidaan lukea kiilleliuskeeksi. Kiilleliuskeen lämmönjohtavuus on 2,8 W/mK. Vaasan kampusalue ei Suomen ympäristökeskuksen avoimen kartta-aineiston perusteella sijaitse pohjavesialueella. Tarkemmat tiedot maapeitepaksuudesta, kivilajista ja pohjavesialueesta löytyvät liitteestä 2.

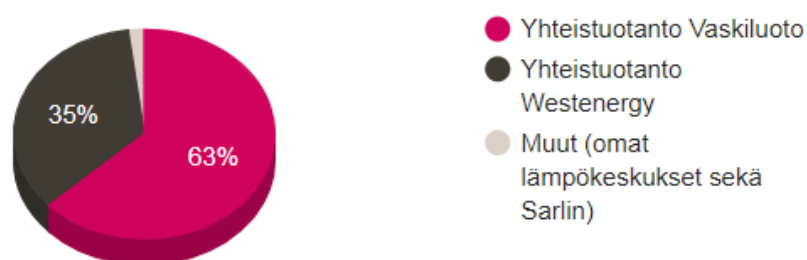
Vaasan kampuksen alueella on kaksi kaukolämpöliittymää, joista toinen sijaitsee Fabriikissa ja toinen Luotsissa. Kaikissa rakennuksissa on omat lämmönjakohuoneet ja kaukolämmön-jakolaitteet. Palosaaren kampusalueen tontti on iso ja sen viheralueille mahtuisi vähintään 30 geoenergiakaivoa. Tervahovi ja Tritonia on rakennettu 90- ja 2000-luvuilla, joten niiden lämmönjaon lämpötilatasot voisivat sopia lämpöpumpun hyödyntämiseen.

### ***Vaasan alueelliset tavoitteet***

Vaasan kaupungin ilmasto ohjelma on hyväksytty kaupunginvaltuustokokouksessa helmikuussa 2016. Ilmasto-ohjelman mukaan Vaasa aikoo hiilineutraaliksi 2035 mennessä korva-ten fossiilisen energian uusiutuvilla. Myös konserniyhtiöissä huomioidaan energia- ja ilmasto-ohjelma kaupungin kanssa yhteistyössä laadittavien toimenpideohjelmien myötä. Hiilineutraaliuden lisäksi kaupunki tavoittelee 30 % kasvihuonekaasupäästöjen vähenemää vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä.

Vaasan kaupunki osallistuu 5-vuotiseen EU:n rahoittamaan energia- ja kestävyys Hankkeeseen. IRIS (Integrated and Replicable solutions for co-creation in Sustainable cities) hankkeessa testataan uusia kaupunkikehityksen ratkaisuja energian, liikkuvuuden ja ICT:n aloilla. Hanketta johtavat niin kutsutut Lighthouse-kaupungit, joissa on jo käytössä kestäviä kaupallisia ratkaisuja ja jotka toimivat yhteistyökaupunkeina. Tämän lisäksi hankkeessa on seuraaja kaupunkeja, joihin Vaasa kuuluu, joissa otetaan käyttöön Lighthouse-kaupungeissa jo demonstroituja ratkaisuja. Jokaisella kaupungilla on mukana hankekumppaneina asiantuntijaorganisaatioita, kuten yliopistoja, tutkimuslaitoksia ja yrityksiä. Vaasan hankekumppanina toimii muun muassa Vaasan Yliopisto. (IRIS 2017) (Vaasan kaupunki 2017)

Vaasan kaukolämpöä tarjoavan energialaitoksen Vaasan Sähkön ominaispäästökerroin kaukolämmölle oli vuonna 2016 vain 77 kgCO<sub>2</sub>/MWh, joka on kaukolämmön yhteistuotannon keskiarvoa 176 kgCO<sub>2</sub>/MWh huomattavasti pienempi. Vaasan Sähkön internetsivujen mukaan yli 70 % kaukolämmön tuotannosta on hiilidioksidivapaata. Kaukolämmön tuotannon jakautuminen eri voimalaitosten kesken on esitetty kuvassa 32. Vaskiluodon yhteistuotantolaitoksessa käytetään polttoaineena hiiltä ja biopolttoaineita. Westenergyn voimalaitos on kierrätyskelvotonta jätettä polttoaineenaan käyttävä jätteenpolttolaitos. Tuotannosta noin 20 % tehtiin kivihiilellä. (Vaasan sähkö 2017a) (Vaasan sähkö 2017b)



**Kuva 32. Kaukolämmön tuotannon jakautuminen voimalaitosten kesken vuonna 2016 (Vaasan sähkö 2017a)**

SYK:n tekemän kestävän kehityksen kampuskierroksen yhteydessä Vaasan yliopiston kampuksen edustajat vastasivat, että kiinnostus uusiutuvan energian tuottaminen kampuksella koetaan tärkeäksi kysymykseksi ja hiilidioksidipäästöjä kampuksella mitataan, mutta niiden suhteen ei ole asetettu tavoitteita.

### 5.3 Kampuspotentiaalin tulokset

Seuraavissa kappaleissa kootaan yhteen kampuskohtaisten potentiaalien tulokset. Tulokset on esitetty alueellisten tavoitteiden, lämpöpumppuratkaisujen ja aurinkosähkön osalta eri alaluvuissa, koska tuloksien esittäminen samassa, kaikki potentiaaltekiijät kokoavassa matrisissa nähtiin liian epäselvänä.

#### 5.3.1 Alueelliset tavoitteet

SYK:n omistamien kampusten kaupunkien ilmastotavoitteet olivat suurimmaksi osin linjassa Suomen kansallisten tavoitteiden kanssa. Kaupunkien hiilineutraaliustavoitteet vaihtelivat vuosien 2025 ja 2050 välillä. Kaupungeilla, jotka eivät ole vielä uudistaneet ilmastotavoitteitaan vuoden 2015 lopussa solmitun Pariisin sopimuksen jälkeen, hiilineutraaliuteen tähtäävä vuosi oli edelleen 2050 tai sitä ei ollut määritelty lainkaan. Kaupungeista Joensuu aikoo olla muita nopeammin hiilineutraali, jo vuonna 2025.

Uusiutuvan energian lisäämisen vaikuttavuuden arviointi alueellisten tavoitteiden näkökulmasta on hankalaa tämän selvityksen laajuudessa, koska esimerkiksi kuntien ilmastotavoitteisiin täytyy suhtautua kriittisesti, ja niitä ei voi suoraan käyttää ohjaamaan yrityksen omia paikallisia tavoitteita. Ilmasto-ohjelmat ja strategiat ovat poliittisia linjauksia ja tavoitteiden tulkitsemisen ja vertailun sijaan tulisikin tarkastella strategioiden pohjalta toimeenpantuja toteutuksia. Tuloksia voidaan tulkita toteutuneiden päästövähennemien valossa ja esimerkiksi energiayhtiöiden päästökertoimien ja tuotannosta uusiutuvan energian osuuden avulla. Tulokset on esitetty taulukossa 17. Toteutuneiden päästövähennemienkin vertailua vaikeuttaa, kuten aiemmassa kappaleessa jo todettiin, vertailuvuosien erilaisuus.

Esiselvityksessä selvisi, että lähes kaikkien SYK kaukolämpötoimittajien päästövähennystavoitteet pohjautuvat bioenergian lisäämiseen nykyisissä voimalaitoksissa. Korkein uusiutuvan energian osuus kaukolämmön tuotannosta on Joensuussa, Lappeenrannassa ja Vaasassa, joissa uusiutuvien osuus on noin 70 %. Pienin uusiutuvien energialähteiden osuus tuotannosta on Turussa, 13 %, ja Oulussa 36 %. Turussa voimalaitosten käytetyin polttoaine on edelleen kivihiili ja Oulussa voimalaitoksissa poltetaan lähialueilta saatavaa turvetta. Tampereen uusiutuvien energialähteiden ei ole Oulua paljon korkeampi ollen 38 %, mutta sen lämmön päästökerroin on Oulua huomattavasti pienempi, koska Tampereella polttoaineena käytetään turvetta enemmän maakaasua, jonka päästökerroin on alhaisempi kuin turpeella (taulukko 7).

*Taulukko 17. Lämmön- ja sähkön päästökertoimet sekä uusiutuvan energian osuus kaukolämmön tuotannosta SYK kampuksilla*

Kampus	Oulu, Linnanmaa	Oulu, Kontinkangas	Kuopio	Jyväskylä, Seminaarinmäki	Jyväskylä, Ylistönrinne	Joensuu	Lappeenranta	Rovaniemi	Turku	Vaasa	Tampere, Keskusta	Tampere, Hervanta
Kaukolämmön päästökerroin [kgCO <sub>2</sub> /MWh]	220	220	188	168	168	150	109	172	351	77	186	186
Sähkön päästökerroin [kgCO <sub>2</sub> /MWh]	138	138	138	138	138	138	0	277	138	138	138	138
Energiayhtiön UE-osuus kaukolämmön tuotannossa [%]	36	36	52	52	52	70	70	58	13	70	39	39

On myös kyseenalaista, saadaanko bioenergian lisäämisellä oikeasti vähennettyä päästöjä ilmakehässä, sillä siinä missä hiilen polttamisen yhteydessä, myös biomassan polttamisesta

syntyy hiilidioksidipäästöjä. Metsät myös sitovat ilmakehästä hiilidioksidia ja toimivat hiilinieluina, joten hakkuiden lisääminen on ilmaston näkökulmasta sama asia, kuin päästöjen lisääminen. Biotalous kestävyyden riippuu tarkasteluvälistä ja lyhyellä tähtäimellä Suomen ajama linja EU:ssa kasvattaa hiilidioksidipäästöjä ilmakehässä.

Sähkön päästökerroin on kahta poikkeusta lukuun ottamatta kaikilla kampuksilla sama. Tämä johtuu siitä, että yliopistot hankkivat sähkön saman toimijan, Hanselin, kautta.

### 5.3.2 Maalämpö- ja vesistölämpöpumppu

Tähän kappaleeseen on koottu sekä maalämpö- että vesistölämpöpotentiaali SYK kampuksilla, sillä niiden käyttöönottopotentiaaliin vaikuttavat osin samat tekijät molempien ollessa lämmityskäyttöön tarkoitettuja uusiutuvan energian ratkaisuja.

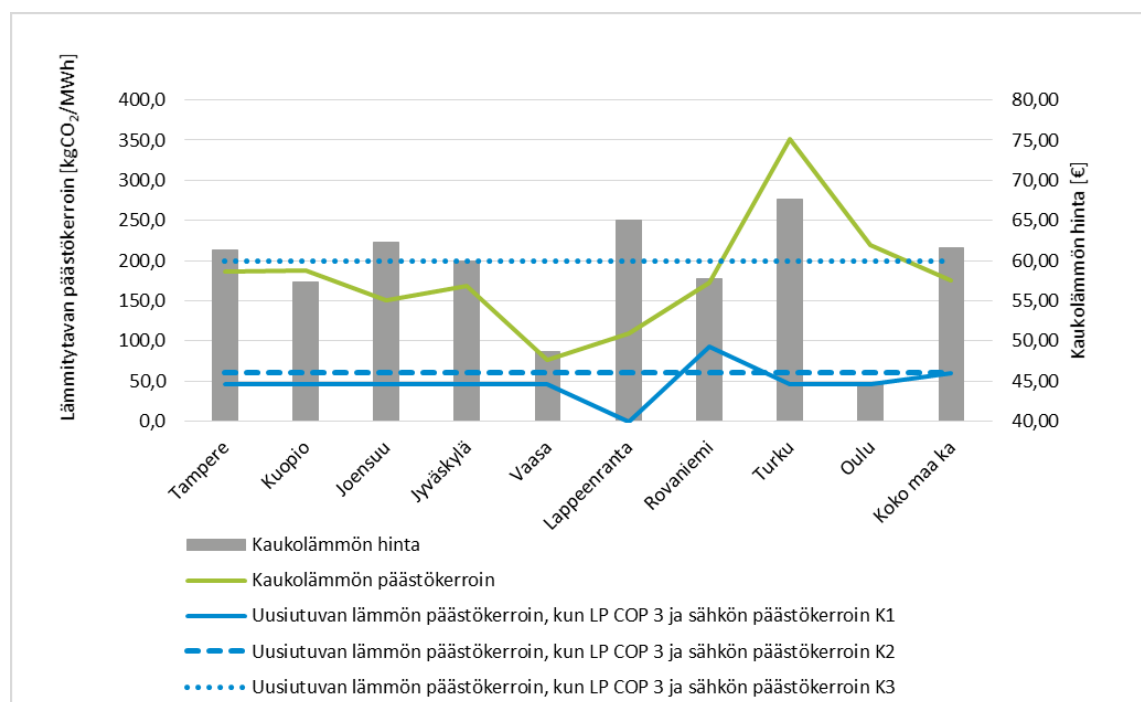
Taulukkoon 18 on koottu maalämpöpotentiaaliin vaikuttavat tekijät kaikilla kampuksilla. Kahdella ensimmäisellä rivillä ovat geoenergiapotentiaaliin vaikuttavat maapeitteen paksuus ja kallioperän kivilajin lämmönjohtavuus. Riville kolme on koottu kaupunkien kaukolämmön hinta ja rivillä neljä on kaukolämmön uusien tiedossa oleva päästökerroin. Taulukoidut arvot on suhteutettu toisiinsa siten, että rivillä vihreällä esitetty on paras maalämmön käyttöönoton potentiaalinen kannalta ja punainen on huonoin. Punainen väri ei siis tee maalämpöä vielä kannattamattomaksi, mutta se on SYK kampuksista vähiten houkutteleva kampus kyseisen potentiaali tekijän perusteella. Geoenergiapotentiaalinen näkökulmasta paras potentiaali on selvityksen perusteella Oulun kampuksilla, Jyväskylän Ylistönrinteen kampuksella ja Tampereen Hervannan kampuksella. Näillä kampuksilla kivilajin lämmönjohtavuus on erinomainen ja maapeitteen paksuus pieni. Maalämmön hyödyntämispotentiaaliin päästöjen vähentämisen näkökulmasta vaikuttaa kaukolämmön päästökerroin ja investoinnin taloudelliseen kannattavuuteen nykyisen lämmitysenergian hinta. Päästökertoimen näkökulmasta houkuttelevimpia kampuksia ovat Turku ja Oulu. Turku on houkutteleva myös kaukolämmön kustannusten näkökulmasta, kun taas Oulussa on koko Suomen halvin kaukolämpöenergia.

Taulukko 18. Maalämpöpotentiaali SYK kampuksilla

Kampus	Oulu, Linnanmaa	Oulu, Kontinkangas	Kuopio	Jyväskylä, Seminaarimäki	Jyväskylä, Ylistönrinne	Joensuu	Lappeenranta	Rovaniemi	Turku	Vaasa	Tampere, Keskusta	Tampere, Hervanta
Maanpeitepaksuus [m]	10-30	10-30	1-30	30-50	0-1	10-30	30-50	1-10	0-30	1-10	10-50	0-1
Kivilajin lämmönjohtavuus [W/mK]	3,55	3,55	2,9	3,19	3,19	2,8	3,5	2,8	2,8	2,8	2,8	3,19
Kaukolämmön päästökerroin [kgCO <sub>2</sub> /MWh]	220	220	188	168	168	150	109	172	351	77	186	186
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	44,7	44,7	57,3	60,0	60,0	62,3	65,1	57,8	67,7	48,7	61,4	61,4

Koska lämpöpumppujärjestelmä käyttää sähköä lämmön tuottamiseen, sille voidaan laskea teoreettinen päästökerroin sähkön päästökertoimen ja lämpöpumpun COP-kertoimen avulla. Tätä saatua teoreettista uusiutuvan energian päästökertoimen voidaan verrata nykyiseen kaukolämmön päästökertoimeen. Uusiutuvan energian päästökerroin lasketaan kampuksen nykyisen sähkönhankinnan päästökertoimen avulla jakamalla tämä lämpöpumpun keskimääräisellä COP-arvolla 3. Näin esimerkiksi Tampereen kampusten lämpöpumpulla tuotetun uusiutuvan energian päästökerroin on 46 kgCO<sub>2</sub>/MWh, kun käytetään sähkönmyyjän ilmoit-

tamaa sähkön CO<sub>2</sub>-päästökerrointa K1 138,2 kgCO<sub>2</sub>/MWh. Kuvassa 33 on esitetty diagrammilla, miten lämpöpumpun hyödyntäminen kampuksen rakennuksissa vaikuttaisi lämmityksen päästökertoimeen. Diagrammissa on esitetty vihreällä kaukolämmön nykyinen päästökerroin ja sinisellä maalämpöpumpulla tuotetun uusiutuvan energian päästökerroin. Uusiutuvan energian päästökertoimesta on esitetty kolme vaihtoehtoa käyttäen sähkölle päästökertoimenä sähkönmyyjän ilmoittamaa K1 kerrointa, Suomen keskimääräisen sähkönhankinnan K2 kerrointa ja marginaaliperustaista K3 kerrointa. Diagrammista huomataan, että käytetyllä sähkön päästökertoimella on huomattava merkitys. Marginaaliperustaisen päästökertoimen käyttäminen tekee lämpöpumppujen käyttämisestä päästöjen vähentämisen näkökulmasta kannattamatonta kaikissa kaupungeissa paitsi Turussa ja Oulussa. Sähkönmyyjän ilmoittaman ja Suomen keskimääräisen kertoimen perusteella lämpöpumppu on päästöjen vähentämisen näkökulmasta kannattavaa kaikilla kampuksilla. Tosin Vaasassa nykyinen kaukolämmön päästökerroin on jo hyvin lähellä lämpöpumpulla tuotetun uusiutuvan energian päästökerrointa, joten päästöjen näkökulmasta kannattavuus on heikko. Kun päästökertoimien vertaamiseen yhdistetään taloudellinen näkökulma, eli kaukolämmön nykyinen hinta, ja elinkaariajattelu, Turku nousee houkuttelevimmaksi lämpöpumpun käytön kohteeksi.



**Kuva 33. Kaukolämmön kustannusten ja päästökertoimen vaikutus SYK kampuksilla lämpöpumpuilla tehtyyn hiilidioksidipäästöjen säästöpotentiaaliin**

Vastaavia päästökerroinvertailuja voidaan soveltaa myös vesistölämpöpumpun hiilidioksidipäästöjä vähentävään potentiaaliin. Taulukossa 19 on esitetty vesistölämpöpotentiaali SYK:n kampuksilla. Taulukkoon on listattu vain ne kampukset, jotka sijaitsevat riittävän lähellä, alle 500 metriä, vesistöä. Turun ja Rovaniemen kampusten vesistölämpöpotentiaali kariutuu Uponorin ratkaisussa, sillä kummankaan kampuksen edustalla vesistön syvyys ei ole riittävä, yli 4 metriä. Vesistöön asennettavan imuputken pituus riippuu rannan ja tarpeeksi syvän veden etäisyydestä ja vaikuttaa investointikustannuksiin. Kuvassa 33 esitetyn päästökeroindiagrammin mukaan lämpöpumppu ei ole päästövähentämisen kannalta järkevä vaihtoehto Vaasassa. Jäljelle jäävät vesistölämpöpumpulle potentiaaliset kampukset ovat Kuopio, Jyväskylän Ylistönrinne ja Lappeenranta.



Taulukko 19. Vesistölämpöpotentiaali SYK kampuksilla

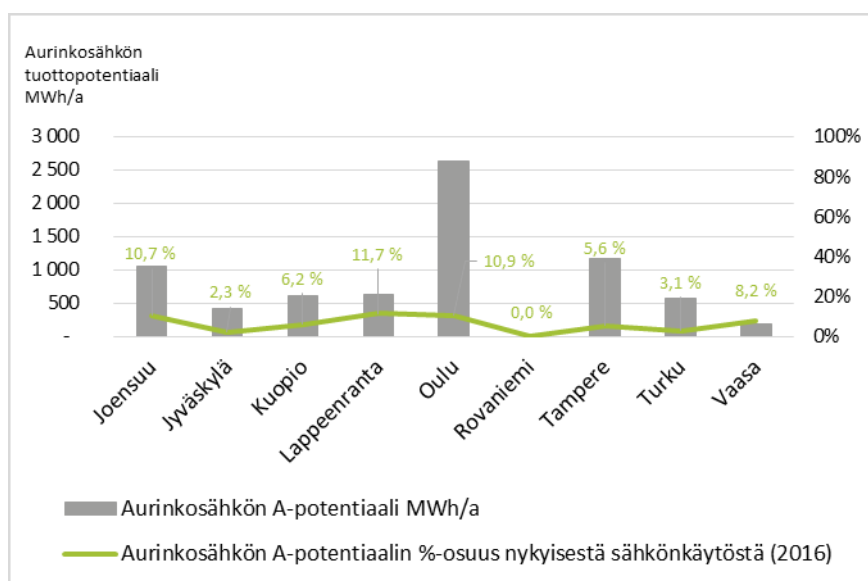
Kampus	Kuopio	Jyväskylä, Ylistönrinne	Lappeenranta	Rovaniemi	Turku	Vaasa
Rannan etäisyys rakennuksista [m]	30	30	100	60	250	75
Vesistön syvyys [m]	7	7	4	1	3,5	4
Imuputken pituus [m]	75	40	200			75
Kaukolämmön päästökerroin [kgCO <sub>2</sub> /MWh]	188	168	109	172	351	77
Kaukolämmön hinta [€/MWh]	57,3	60,0	65,1	57,8	67,7	48,7

### 5.3.3 Aurinkosähkö

Diplomityön yhteydessä toteutetussa aurinkosähköselvityksessä tarkasteltiin yhteensä 104 SYK:n omistamaa rakennusta. Näistä 32 rakennuksen kattoja ei nähty potentiaalisina ilman lisäselvityksiä. Alustavien laskelmien perusteella aurinkosähköjärjestelmien koot vaihtelivat 9 kW<sub>p</sub> ja 739 kW<sub>p</sub> välillä, keskiarvon ollessa 114 kW<sub>p</sub>. Selvityksen perusteella SYK kattojen yhteenlaskettu aurinkosähköteho on noin 8 MW<sub>p</sub>, joka on merkittävä lukema, kun sitä vertaa koko Suomen vuoden 2016 yhteistehoon, joka oli noin 27 MW<sub>p</sub>. Potentiaalisten aurinkosähköjärjestelmien lukumäärät koosta riippuen ovat:

- alle 50 kW<sub>p</sub> 21 kpl
- 50–100 kW<sub>p</sub> 22 kpl
- 100–200 kW<sub>p</sub> 20 kpl
- yli 300 kW<sub>p</sub> 9 kpl

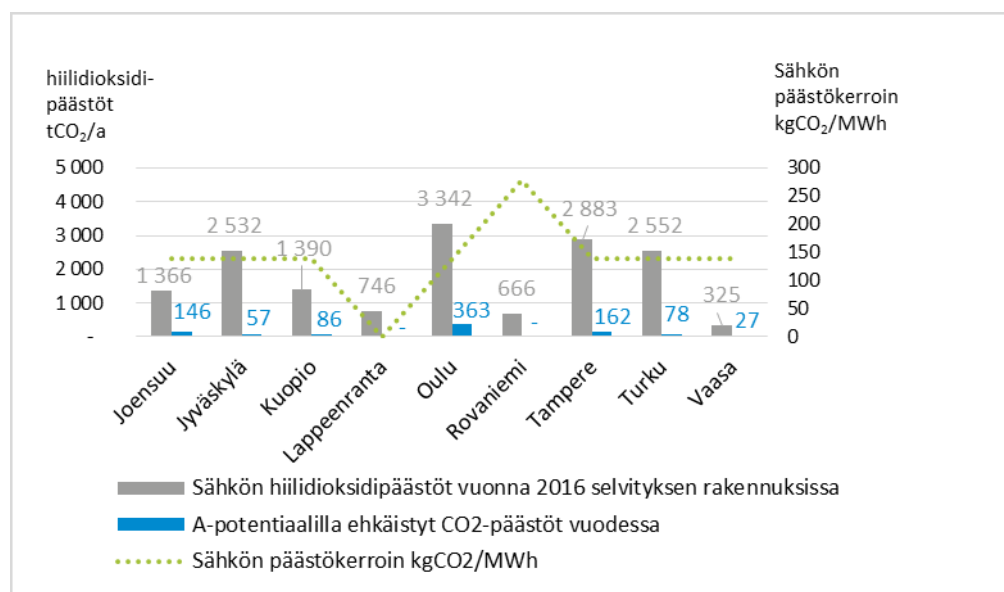
Selvityksen mukaan aurinkosähköpotentiaalin osuus nykyisestä sähkönkulutuksesta oli keskiarvoltaan SYK:n kampuksilla 6,5 %. Yli 10 % potentiaali oli Joensuussa, Lappeenrannassa ja Oulussa, heikoin hyödynnettävyys sen sijaan Rovaniemellä ja Jyväskylässä.



Kuva 34. Aurinkosähkön A-potentiaalin vertailu nykyiseen sähkönkulutukseen SYK:n kampuksilla

Mikäli kaikki A-potentiaalin aurinkosähköjärjestelmät toteutettaisiin, nousisi SYK:n uusiutuvan energian vuosituotanto nykyisestä 0,06 %:sta jopa 2,52 %:iin vuoden 2016 kokonaisenergiankulutukseen verrattuna.

Jos aurinkosähkön vaikuttavuutta tarkastellaan päästöjen vähentämisen näkökulmasta, ja käytetään vertailuun sähkönmyyjän ilmoittamaa K1 päästökerrointa, eivät Lappeenrantaan sijoitetut aurinkosähköjärjestelmät laskennallisesti vähennä SYK:n energiankulutuksen hiilidioksidipäästöjä lainkaan. Lappeenrannan hankkii täysin uusiutuvilla tuotettua sähkö, jonka päästökerroin on nolla. Kuvassa 35 on esitetty selvityksessä mukana olevien rakennusten sähkön päästöt vuonna 2016 ja A-potentiaalilla vuosittain ehkäistävissä olevat päästöt. Suurin hiilidioksidipäästöjä vähentävä potentiaali on Oulussa. Nykyisiin hiilioksidipäästöihin verrattuna paras potentiaali on Oulussa ja Joensuussa 11 % sekä Vaasassa 8 %.



Kuva 35. Aurinkosähköpotentiaalin päästövaikutukset SYK kampuksilla



## 6 Energiaselvitykset

Tutkimuksen toisessa osassa paneudutaan tarkemmin kolmeen esiselvityksen perusteella valittuun kampukseen. Energiaselvitys toteutetaan kaikille kolmelle uusiutuvan energian tekniikalle, joiden potentiaalia esiselvityksessä tutkittiin. Energiaselvitys pitää sisällään hanke-suunnitelmatason energialaskelmat, investointikustannuslaskelmat sekä elinkaarikustannuslaskelmat (LCC) valitulle uusiutuvan energian ratkaisulle.

Energialaskelmat perustuvat nykyiseen tunnettuun energiankulutukseen. Kaikki kampukset on mittaroitu etäluettavilla mittareilla joista on mahdollista saada tuntitason kulutustiedot. Energian tuntikulutusten perusteella voidaan myös määrittää kampusten huipputehontarpeet. Kaikissa tapauksissa elinkaarikustannukset lasketaan nettonykyarvomenetelmällä (NPV).

NPV- tarkastelussa verrataan valittua uusiutuvan energian ratkaisua nykyiseen energianhankintaan. Energiaselvitys pitää sisällään myös skenaariotarkastelun CO<sub>2</sub>-päästöjen osalta, jossa uusiutuvan energiaratkaisun päästöjä verrataan nykyisiin CO<sub>2</sub>-päästöihin huomioiden myös nykyisten järjestelmien mahdolliset päästökertoimien muutokset tulevaisuudessa.

Työn laajuus huomioiden viranomaisvaatimusten mukaiset selvitykset, kuten vesistön käyttöoikeudet, maanalaiset kaavoitukset ja rakennusten suojelut jätetään näiden tarkastelujen ulkopuolelle.

### 6.1 Kustannuslaskenta

Yksinkertaisin investoinnin kannattavuuden mittari on takaisinmaksuaika (TMA). Sen avulla voidaan helposti laskea, minkä ajan kuluessa yhteenlasketut nettotuotot ylittävät investoinnin hankintakustannukset. Jos laskennassa ei huomioida laskentakorkoa ja vuotuinen nettotuotto on vakio, takaisinmaksuaika lasketaan jakamalla hankintameno vuotuisella nettotuotolla. Takaisinmaksuajan menetelmän perusteella edullisimpia investointeja ovat ne, joiden pääoma saada nopeimmin kerrytettyä takaisin. Takaisinmaksuajan käyttäminen investointien vertailussa keskenään on kuitenkin huono, sillä se ei ota huomioon investoinnin pittoaikaa ja jäännösarvoa ja siten sen nettotuottoja pitkällä aikavälillä.

Energiaselvityksissä lämpöpumppujärjestelmän ja aurinkosähköjärjestelmien elinkaarikustannuksia verrataan vaihtoehtoiseen laskentatapaukseen hyödyntämällä nettonykyarvolaskennan yhtälöä (Lehtonen 2004) (1):

$$NPV = \sum_{i=1}^k \frac{(T_i - K_i)}{(1 + r)^i} = 0 \quad (1)$$

NPV=investoinnin nykyarvo (€)

T<sub>i</sub> = investoinnista aiheutuvat tulot vuonna i (€)

K<sub>i</sub> = investoinnista aiheutuvat kulut vuonna i (€)

r = korkokanta

Nettonykyarvo on investoinnin kannattavuuden mittari. Se on tulovirran ja menovirran nykyarvojen erotus ja sen laskennassa otetaan huomioon erilaisia laskentakorkoja. Toinen käytetty investoinnin kannattavuuden mittari on sisäinen korkokanta. Sisäinen korkokanta on se laskentakorko, jolla investoinnin nettonykyarvo on nolla jollain tarkastellulla ajanhetkellä. Sisäinen korkokanta (IRR) lasketaan yleensä iteroimalla nettonykyarvon yhtälöstä (1).

## 6.2 Maalämpöselitys

Tässä kappaleessa on esitetty esiselvityksen perusteella valitulle kampukselle tuotettu maalämpöselvitys. Aluksi esitellään kohteen valintakriteerit, tämän jälkeen kohde esitellään lyhyesti. Energiaselvitys pitää sisällään maaenergiajärjestelmän kuvauksen ja mitoituksen, kannattavuuslaskelmat nettonykyarvomenetelmällä ja päästövähennävertailun perustapaukseen verrattuna.

### 6.2.1 Kohteen valinta ja esittely

Maalämpöselvitys päätettiin toteuttaa esiselvityksen perusteella ja SYK:n päätöksestä Turun kampuksella. Turun kampus koostuu yhteensä 11 kiinteistökokonaisuudesta, jotka sijaitsevat Turussa Aurajoen itäpuolella Tuomaansillan ja Kirkkosillan välissä. Kampusalue pitää sisällään yli 40 erillistä rakennusta, jotka kaikki lämpenevät kaukolämmöllä.

Tässä työssä on tarkoitus löytää uusiutuvalle energialla aikaansaattava suurin vaikuttavuus SYK rakennusten energiankulutuksen hiilidioksidipäästöihin. Tämän takia maalämpöselvitys halutaan tuottaa rakennukselle, jonka lämmitysenergiankulutus on suuri ja järjestelmän toteutuspotentiaali suuri. Turun kampuksen energiamanagerin kanssa käytiin keskustelu potentiaalisimmasta kohteesta maalämpölaitoksen toteutukselle.

Maalämpöjärjestelmän toteuttaminen olemassa olevaan rakennukseen tehdään yleensä laajan peruskorjauksen yhteydessä tai nykyisten lämmöntuottolaitteiden uusimisen yhteydessä. Tästä syystä käytiin läpi Turun kampuksen PTS-suunnitelmat seuraaville vuosille. Taulukkoon 20 on kerätty lämmitysenergiankulutukseltaan suurimmat Turun kampuksen rakennukset ja niille PTS:ään viedyt mahdolliset suuret remontit. Taulukkoon on myös lisätty rakennuksen rakennusvuosi ja mahdollinen jo tehty peruskorjaus. Kohteen rakennusvuodella on merkitystä, sillä vanhoissa arvokiinteistöissä, joissa on alkuperäiset lämmönjakolaitteet, voi järjestelmän vaadittu lämpötila olla liian korkea maalämpöjärjestelmälle. PTS-suunnitelmien perusteella löydettiin 3 rakennusta, joissa on tulossa mahdollisesti peruskorjaus ennen vuotta 2020 ja yksi uudisrakennus.

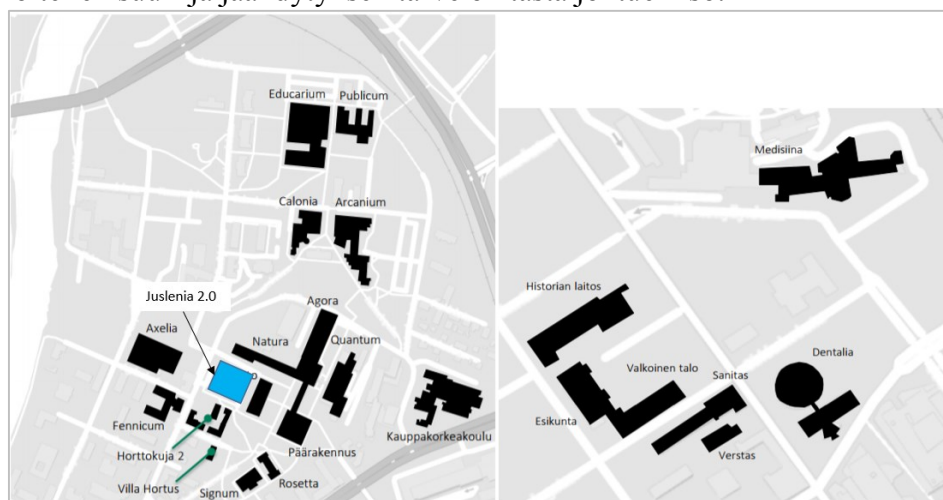
*Taulukko 20. Turun kampuksen rakennusten peruskorjausehdotukset PTS:ssä*

rakennus	rakennusvuosi	peruskorjausvuosi	PTS toimenpide-ehdotuksia
<b>Axelia</b>	1978, 1997	ei ole tehty	<b>Peruskorjaus 2018–2019</b>
<b>TKKK</b>	1958, 1962, 1986, 2002	1991, 2003	
<b>Educarium</b>	2001	ei ole tehty	
<b>Arcanum</b>	1992	ei ole tehty	<b>Peruskorjaus mahdollisesti 2020</b>
<b>Calonia</b>	1986	2016	
<b>Natura</b>	1958	1997–1998	
<b>Medisiina</b>	A-osa 1948, B-osa 1952 ja C-osa 1954	1983–1987, 2013–2014	
<b>Dentalia</b>	1965	1999 ja 2004	<b>Peruskorjaus mahdollisesti 2020</b>
<b>Juslenia</b>	uudisrakennus 2018–2020		

Vaikka diplomityön ensisijainen tarkoitus oli tutkia uusiutuvan energian hyödyntämismahdollisuuksia olemassa olevissa rakennuksissa, SYK valitsi jatkoselvitystä varten kuitenkin Yliopistonmäelle suunnitteilla oleva uudisrakennus Juslenia 2.0, joka on hankesuunnitteluvaiheessa tämän diplomityön kirjoitushetkellä syksyllä 2017. Juslenia rakennus on esitetty

sinisellä kuvassa 36. Nykyinen Juslenia rakennus on saanut purkutuomion sisäilmaongelmien takia, ja vaativan peruskorjauksen sijaan se on päätetty purkaa ja tilalle rakennetaan uusi hieman nykyistä suurempi Kemian laitosrakennus. Kohteen energiankulutus oli valmiiksi simuloitu, mutta kohteeseen ei ollut hankesuunnittelun tässä vaiheessa vielä harkittu maalämpöä. Perusteluna käytettiin ahdasta tonttia. Diplomityö nosti maalämpösuunnittelun ajankohtaiseksi ja Juslenia 2.0:aan päätettiin toteuttaa hankesuunnitelmatason maalämpöselvitys.

Juslenia 2.0 tulee olemaan kemian laitosrakennus, jossa on paljon tutkimustoimintaa ja laboratoriotiloja. Energiankulutus kemianlaitosrakennuksissa on suuri johtuen pitkistä käyttöajoista ja suurista ilmamääristä. Tutkimuslaitetekannasta johtuen myös lämpökuorma on paikoitellen suuri ja jäähdytyksen tarve on tästä johtuen iso.

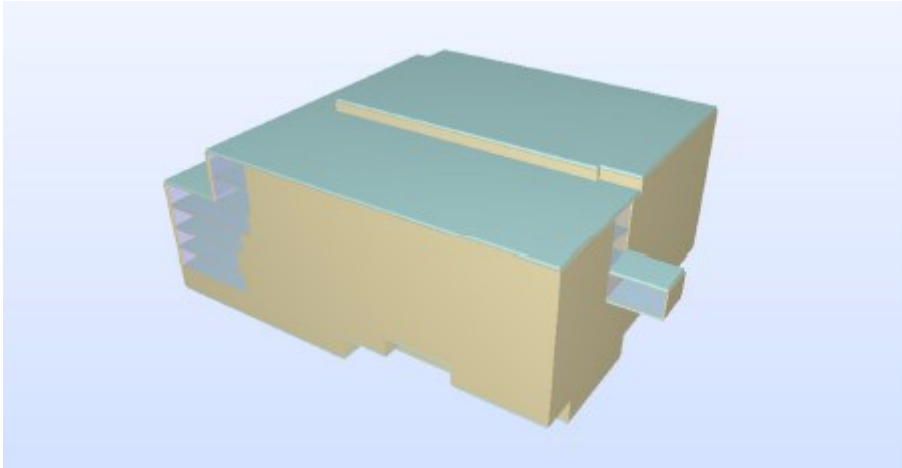


Kuva 36. Juslenia 2.0 sijainti SYK:n Turun kampuksella

## 6.2.2 Kohteen energiantarve

Kohteen tavoite-energiankulutuksen laskenta oli suoritettu Granlund Consulting Oy:n toimesta kesällä 2017. Tässä kappaleessa nähtävät kuvat ja taulukot on saatu käyttöön Granlund Consultingin luvalla eivätkä ne ole diplomityöntekijän itse tuottamia. Energialaskennan tulokset esitellään tässä, koska ne toimivat lähtötietoina maalämpöselvitykselle. Selvitys on tämän diplomityön lisäksi osa uudisrakennuksen hankesuunnittelun energiakonsultointia.

Kohteen energiankulutus oli simuloitu dynaamisella energiasimulointiohjelmistolla Riuskalla. Energiasimulointia varten oli tuotettu geometriamalli, kuva 37, MagiCAD-mallinnusohjelmalla MagiRoom-sovellusta käyttäen. Laskelmissa oli käytetty laskentahetkellä saatuja hankkeen lähtötietoja ja vastaavanlaisen rakennuksen tietoja niiltä osin, kun riittäviä lähtötietoja ei ollut saatavilla.

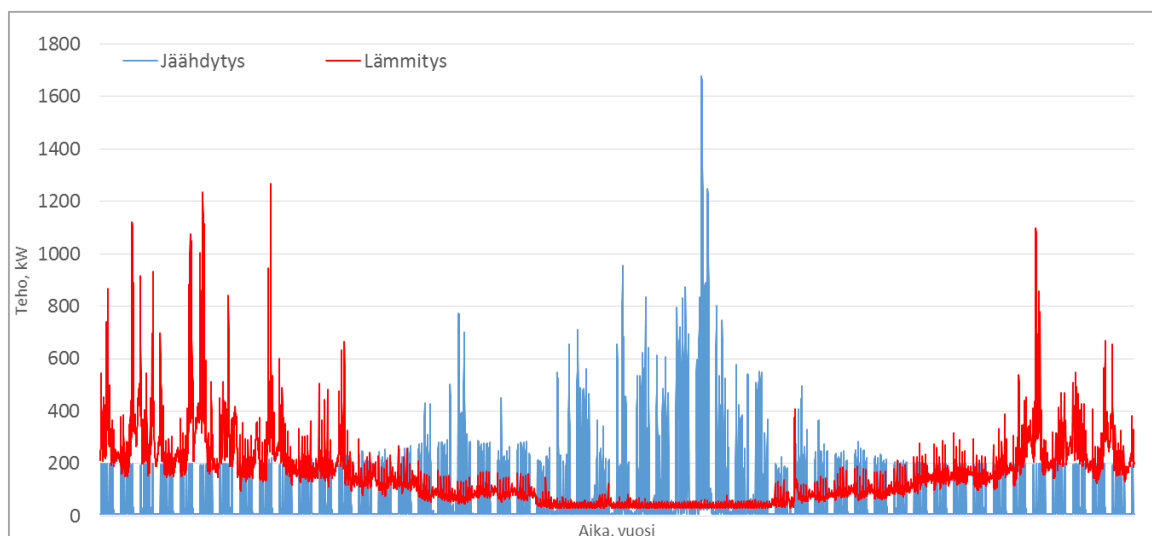


**Kuva 37. Juslenia 2.0 geometriamalli**

Taulukossa 21 on esitetty rakennuksen simuloitu vuotuinen energiantarve energialajeittain. Rakennuksen vuotuinen lämmitysenergiatarve on 1321 MWh ja jäähdytystarve 517 MWh. Kuvassa 38 on esitetty rakennuksen tuntikohtaiset lämmitys- ja jäähdytystehot vuoden aikana. Rakennuksessa on huomattava jäähdytyksentarve kesäisin, joka parantaa geoenergiakentän toimintaa ladataen sitä kesällä jäähdytyksen avulla.

*Taulukko 21. Juslenia 2.0 uudisrakennuksen simuloitu vuotuinen energiantarve*

		Energia [MWh/a]	Teho [kW]
Lämmitys	IV-lämmitys	519	1051
	Tilalämmitys	424	311
	LKV	300	48
	jakeluhäviöt	78	
Jäähdytys	IV-jäähdytys	205	1473
	Tilajäähdytys	127	127
	jakeluhäviöt	37	
	erillisjäähdytykset	148	48



**Kuva 38. Rakennuksen tuntikohtaiset lämmitys- ja jäähdytystehot vuoden aikana**

### 6.2.3 Maaenergiajärjestelmän kuvaus ja mitoitus

Kohteessa tarkasteltiin uusiutuvan energian tuoton osalta maaenergian hyödyntämismahdollisuutta ja kannattavuutta. Turun kaukolämmön päästökerroin on muihin kaukolämpöyhtiöihin verrattuna varsin korkea (351 tCO<sub>2</sub>/MWh) ja sen osittainenkin korvaaminen uusiutuvalla energialla pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä.

Tontti ei sijaitse pohjavesialueella ja maapeitteen paksuus tontilla on todettu porakonekairauksien perusteella hyvin matalaksi (alle 5m). Tontin alla ei myöskään hankkeessa mukana olevien asiantuntijoiden mukaan sijaitse luolastoja tai muita maanalaisia rakennelmia.

Lähtökohtana on, että maaenergiaa voitaisiin hyödyntää uudisrakennuksessa sekä lämmitykseen, että jäähdytykseen mahdollisimman paljon. Tontilla on uuden kohteen valmistuttua varsin vähän rakennuksen ulkopuolella olevaa tilaa käytettävissä maalämpökaivoille ja siksi kaivojen määrä on rajoittava tekijä maaenergiajärjestelmän mitoituksessa. Asemapiirroksen ja ilmakuvien perusteella tontin pohjoispuolella eläinmuseon ja valmistuvan rakennuksen välissä olevan parkkipaikan alueelle ja tontin itäpuolella valmistuvan rakennuksen ja kirjaston väliselle alueelle (merkitty vihreällä kuvaan 39 alla) voitaisiin sijoittaa yhteensä 9 maalämpökaivoa. Tämän lisäksi rakennuksen alle voitaisiin sijoittaa yhteensä 17 maalämpökaivoa (merkitty kuvaan 39 sinisellä). Näiden lisäksi rakennuksen ulkopuolella olevien kaivojen läheisyyteen tulisi sijoittaa 2-3 kokoojakaivoa, joihin tulee päästä käsiksi. Rakennuksen alle kaivoja sijoitettaessa tulee huomioida, että kaivoja ei päästä huoltamaan lainkaan ja yksittäisen kaivon vikaantuessa, se vain lakkaa tuottamasta energiaa. Osa rakennuksen alle sijoituvista kaivoista voidaan tarpeen mukaan vinoporata rakennuksen piha-alueelta. Kaivojen asettelussa on huomioitu kappaleessa 4.1.3 esitellyt minimietäisyysvaatimukset kaivojen välille.

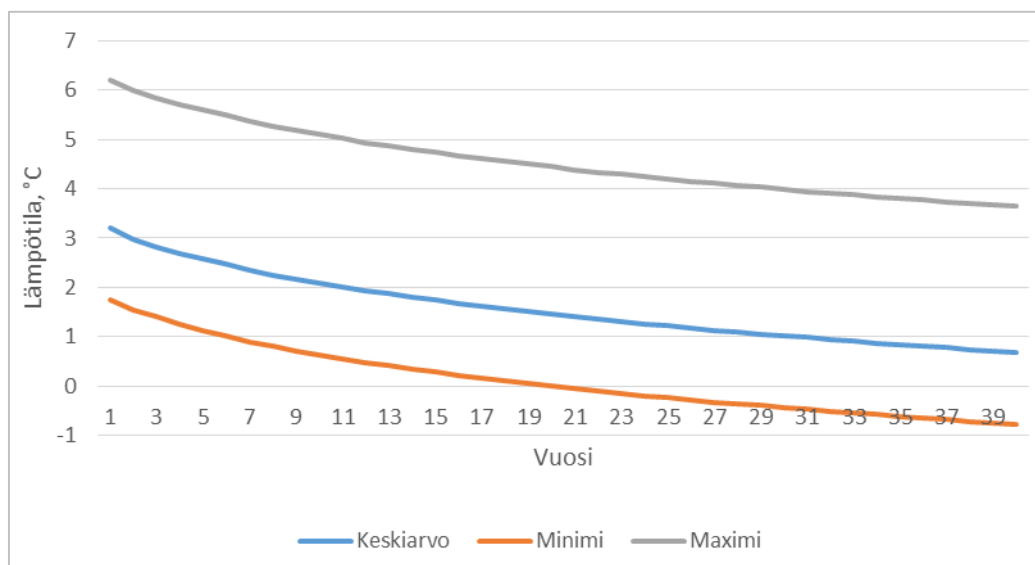


Kuva 39. Kohteen asemapiirros, jossa on esitetty geoenergiakentälle sopiva sijainti ja kaivojen sijainti.

Maaenergiajärjestelmä mitoitetaan hybridimitoituksella tontin tilanpuutteen takia. Mitoituksen määräävä tekijä on siis kaivojen lukumäärä 26 kappaletta. Maalämmön rinnalla toisena pääjärjestelmänä käytetään kaukolämpöä ja maajäähdytyksen lisäkylmänlähteenä vedenjäähdytyskoneita. Maaenergiakentän muodon takia kaivokentän lataaminen jäähdytyksen avulla kesäaikaan on tärkeää, jotta maan lämpötila ei laske liian alhaiseksi järjestelmän käyttöiän aikana. Kuvassa 40 on esitetty kaivo-kentästä lämpöpumpuille tulevan nesteen lämpötilan kehittyminen 40 vuoden aikana.

Kaivokenttä mitoitettiin GLHepro mitoitus työkalulla. Kaivolaskelmissa käytettiin seuraavia lähtötietoja:

- kallion lämmönjohtavuus  $3,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  ja lämpökapasiteetti  $2678 \text{ kJ/(K}\cdot\text{m}^3)$  (Suomen kivilajien keskiarvo)
- porakaivon halkaisija 5" (127 mm)
- maan peruslämpötila  $6,5 \text{ }^\circ\text{C}$  astetta
- maapiirin kiertoneste 27 % etanoli-vesi liuos
- porakaivon keruuputkena PN6 DN40 muoviputki
- keruuputki eroteltu toisistaan
- kaivon syvyys 300m.



Kuva 40. Porakaivojen lämpötila 40 vuoden ajanjakson aikana

Selvityksessä on huomioitu jäähdytyksen osalta IV-jäähdytys, tilajäähdytys ja osa erillisjäähdytyksistä. Vedenjäähdytyskoneilla tuotettava erillisjäähdytys ja kylmähuoneen jäähdytys on jätetty vertailulaskennasta pois, koska se tuotetaan joka tapauksessa vedenjäähdytyskoneilla.

Maaenergiajärjestelmän laitteistojen vaatima lisätilantarve verrattuna pelkkään kaukolämpötapaukseen on noin  $30 \text{ m}^2$ . Maalämpöjärjestelmä voidaan sijoittaa kaukolämpölaitteiston kanssa samaan tekniseen tilaan rakennuksen kellarikerrokseen.

#### 6.2.4 Maaenergiajärjestelmän kannattavuuslaskenta

Selvityksessä laadittiin laskelmat 26 kaivon maaenergiajärjestelmälle jota verrattiin ns. perinteiseen järjestelmään:

1. Perustapaus: Vertailulaskelmatapauksessa kaikki lämmitysenergia on tuotettu kaukolämmöllä ja kaikki jäähdytysenergia on tuotettu vedenjäähdytyskoneilla.
2. Maaenergiatapaus: Vaihtoehto-laskentatapauksessa maaenergiajärjestelmällä on tuotettu lämmitys- ja jäähdytysenergiaa maksimikaivomitoituksen mukaisesti ja huipputehojen tarpeet on katettu kaukolämmöllä sekä vedenjäähdytyskoneilla.

Turku Energian nettisuilta saadun tiedon mukaan kaukolämmön hinnoittelu muuttuu kausihinnoitteluksi 1.3.2018 alkaen. Samalla Turku energia nostaa tehomaksua 9 % ja laskee energiamaksua. Energiamaksun liukuva hintaennuste julkaistaan viimeistään helmikuussa 2018. Tehomaksun korotus ei vaikuta merkittävästi tämän maaenergieselvityksen tuloksiin, sillä kaukolämpöjärjestelmän teho ei juurikin eroa laskentatapauksissa. Turun Energian nettisivuilta ei käy ilmi, että energialaitos hinnoittelisi lisälämmönlähteenä käytettävän kaukolämmön korkeammalla energianhinnalla.

Laskennassa käytettiin seuraavia hintatietoja(alv 0 %): sähkö 100 €/MWh (energia + siirto + vero) ja kaukolämpö: 60,05 €/MWh (energia + perusmaksu, 1.8.2017 hinta). Kustannuksissa on huomioitu kaukolämmön tehoerusteinen perusmaksu: 19 000 €/a, kun kohteessa pelkkä kaukolämpö, 16 500 €/a, kun kohteessa kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistelmä. Kustannuksissa on myös huomioitu kaukolämmön liittymismaksu: 49 000 €, kun kohteessa pelkkä kaukolämpö, 44 000 €, kun kohteessa kaukolämmön ja lämpöpumpun yhdistelmä. Kaukolämpöpaketin hinnaksi oletettiin molemmille tapauksille sama 40 000 €. Muita laskennassa käytettyjä kustannustietoja ovat:

- Lämpökaivon poraus 25 €/m
- Maalämpöpumpun hinta 300 €/kW + asennuskulut 70 % investoinnista
- VJK hinta 330 €/kW

Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 22.

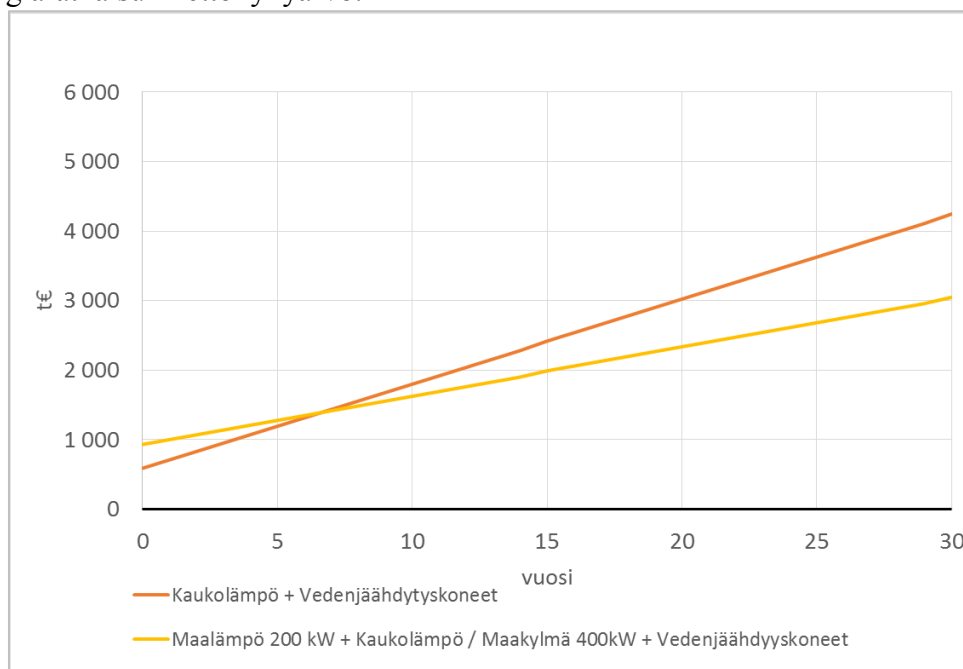
*Taulukko 22. Juslenia maaenergiajärjestelmän energia- ja kustannusvertailu perinteiseen kaukolämmöllä toteutettuun järjestelmään verrattuna.*

	Vertailulaskelma		Vaihtoehto			
	Kauko-lämpö	Vedenjähdytyskoneet	Maa-lämpö	Maa-kylmä	Kauko-lämpö	Vedenjähdytyskoneet
<b>Maksimiteho, kW</b>	1 267	1 808	200	400	1 067	1 408
<b>Energian tuotto vuodessa, MWh</b>	1 320	518	1 069	444	251	74
<b>Ostoenergiankulutus vuodessa, MWh</b>	1 320	207	324		251	30
<b>Investointikustannus, € *</b>	89 246	501 000	399 000		84 062	450 000
<b>Energiakustannus vuodessa, €</b>	79 265	20 728	32 360		15 073	2 967
<b>Suora takaisinmaksuaika</b>	-		6 v			
<b>Korollinen takaisinmaksuaika</b>	-		6 v			

Vaihtoehto-laskentatapauksessa maaenergiajärjestelmä kattaa noin 81 % kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta ja noin 86 % kiinteistön jäähdytysenergian tarpeesta. Maasta saatavan



ilmaisenergin osuus on 39 % kokonaisenergiankulutuksesta. Säästö energiakustannuksissa on noin 49 % vuositasolla. Näillä investoinneilla ja kustannuksilla maaenergiajärjestelmän suora takaisinmaksuaika olisi noin 6 vuotta. Takaisinmaksuaika 2 % laskentakorolla sekä 4 % kaukolämmön ja sähkön hintojen eskalaatiolla on myös noin 6 vuotta. Elinkaarikustannuslaskennassa on huomioitu järjestelmien vuosihuollot ja 15 vuoden välein tapahtuvat isommat korjaukset ja uusimiset. Takaisinmaksuaika on pieni johtuen kaukolämmön korkeasta hinnasta (60 €/MWh). Elinkaarikustannusten kertyminen 30 vuoden ajalta ilman laskentakorkoa tai kaukolämmön ja sähkön eskalaatioita on esitetty kuvassa 41. Kaukolämpöratkaisun nettonykyarvo on 30 vuoden päästä yli miljoona euroa enemmän kuin maaenergiaratkaisun nettonykyarvo.



Kuva 41. Maaenergiajärjestelmän elinkaarikustannukset 30 vuoden ajalta

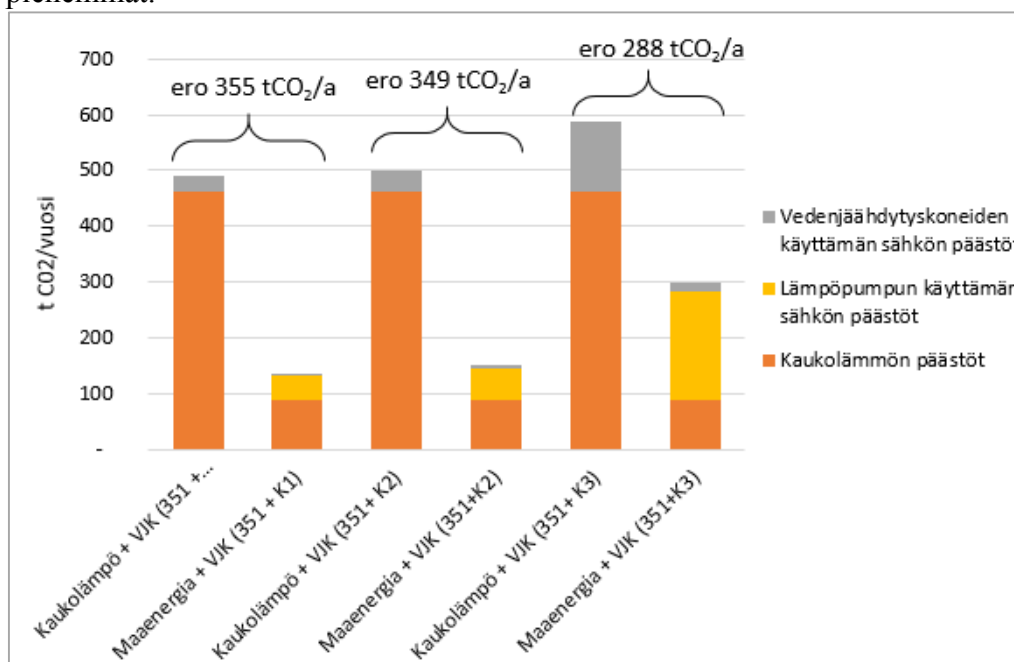
Laskennan yhteydessä pyydettiin myös tarjous energiapalvelun toimittajalta St1 Lähienergialta. Tarjousta pyydettiin kyseiseltä toimijalta, koska heidän tiedettiin toimittavan maalämpöratkaisuja energian ostosopimus mallilla ja koska he markkinoivat syväkaivoja. ST1 Lähienergian poraamat syväkaivot ovat vähintään 600 metrin syvyisiä maaenergiakaivoja. Niiden etu perustuu siihen, että pienemmällä tontin pinta-alalla saadaan tuotettua suurempi määrä energiaa. St1 tarjous ei nykyisillä energianhinnoilla ole kaukolämpöön verrattuna kustannustehokas vaihtoehto, sillä syväporaus on toistaiseksi huomattavasti kalliimpaa kuin normaali reikien poraus. St1 Lähienergian mukaan 600 metrin syvyisten kaivojen poraus maksaa noin kolme kertaa enemmän kuin 200–300 metrin syvyisten kaivojen poraus. (Savela 2017)

### 6.2.5 CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentymän tarkastelu

Päästötarkastelussa on käytetty uusimpia tiedossa olevia, eli vuoden 2016, päästökertoimia. Sähkön hankkii vuokralaisen, eli Turun yliopiston, toimesta Hansel. Hanselin vuoden 2016 päästökerroin hankkimalleen sähkölle oli 138, 2 tCO<sub>2</sub>/MWh (K1). Turku Energian toimittaman kaukolämmön päästökerroin vuonna 2016 oli 351 tCO<sub>2</sub>/MWh. Maaenergia + VJK säästää 355 tCO<sub>2</sub> hiilidioksidipäästöjä vuodessa perinteiseen kaukolämpö + VJK ratkaisuun verrattuna, edellä mainituilla lämmön- ja sähkönmyyjän kertoimilla laskettuna. Prosentuaalisesti siis maaenergia + VJK päästöt ovat vain 28 % kaukolämpö + VJK päästöistä. Investoinnin ja päästövähennemän tunnusluvuksi saadaan 483 000 euron investoinnilla (MLP + KL laitteet huomioitu, ei VJK) ja 355 tCO<sub>2</sub> hiilidioksidipäästöjen vähentämisellä 1,36 €/kgCO<sub>2</sub>.

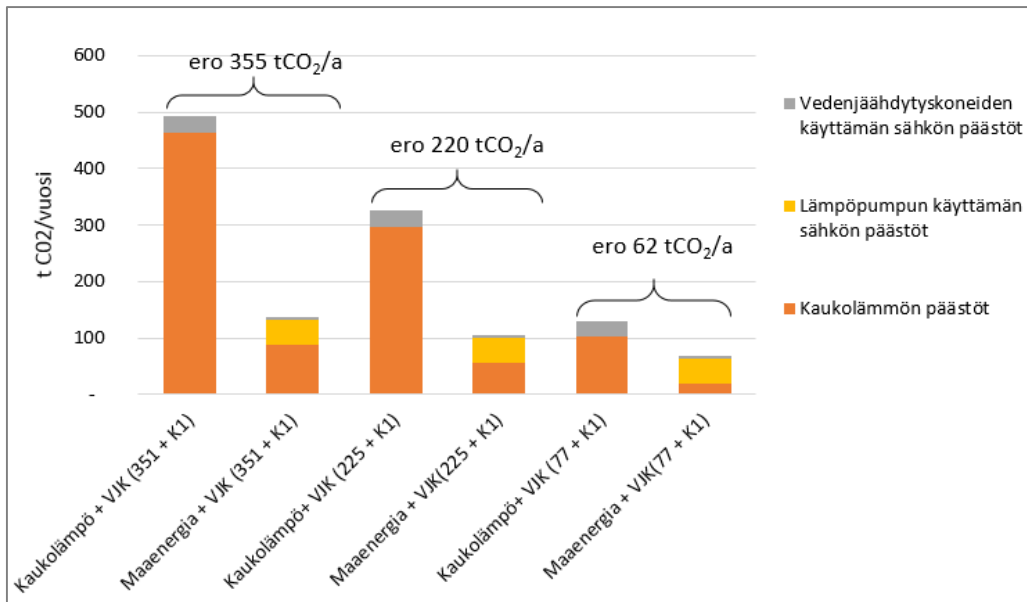


Selvityksen yhteydessä toteutettiin myös päästökertoimien herkkyystarkastelu, jossa tutkittiin, mikä vaikutus kokonaispäästöihin on, kun sähkön ja lämmön päästökertoimia muutetaan. Kuvassa 42 on esitetty maaenergia- ja kaukolämpöratkaisujen hiilidioksidipäästöt vuodessa, kun lämmön päästökerroin on vakio 351 tCO<sub>2</sub>/MWh ja sähkön päästökertoimia muutetaan sähkönmyyjän K1( 138,2 tCO<sub>2</sub>/MWh), Suomen keskimääräisen K2(181 tCO<sub>2</sub>/MWh) ja marginaaliperustaisen K3 (400 tCO<sub>2</sub>/MWh) kertoimien välillä. Kuvasta huomataan, että maaenergiajärjestelmän päästöt ovat kaikilla sähkön päästökertoimilla kaukolämpöratkaisua pienemmät.



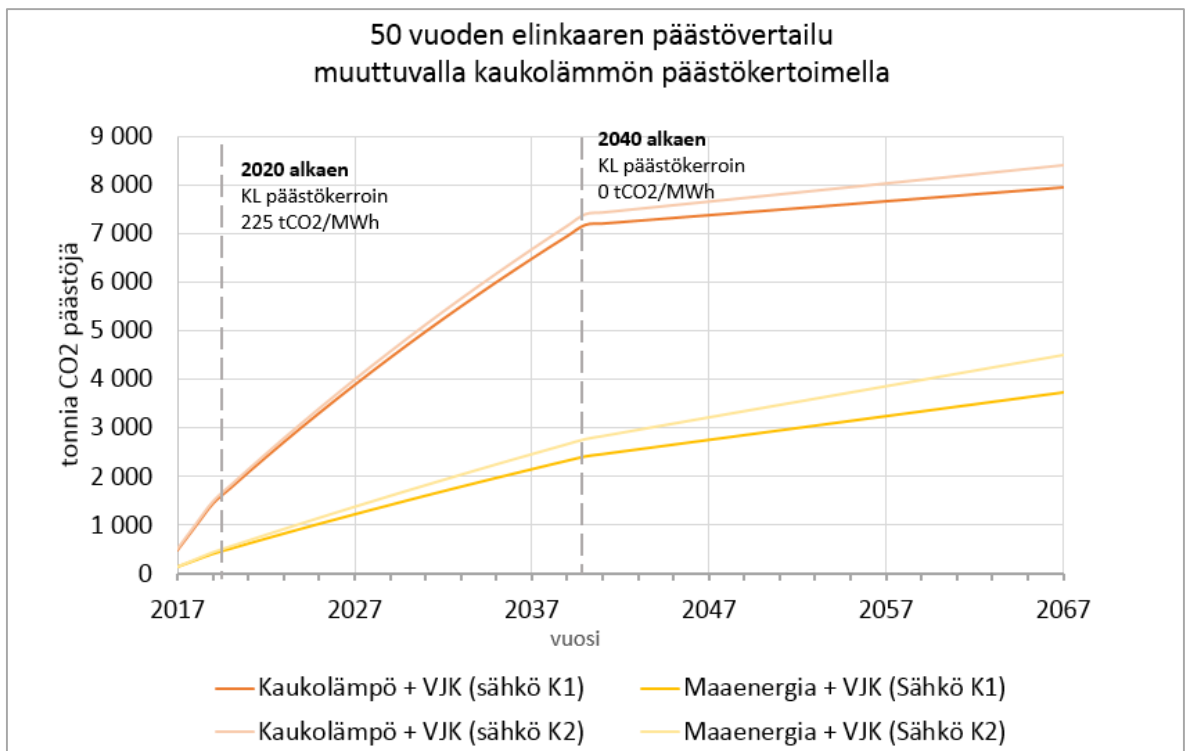
Kuva 42. Juslenia maaenergiaratkaisun päästövertailu sähkön päästökertoimilla K1, K2 ja K3

Lämmön päästökertoimella on suurempi merkitys päästövertailussa, koska kaukolämpöratkaisussa kaukolämmön kulutus on huomattavasti suurempi kuin sähkönkulutus, kuten taulukossa 22 nähtiin. Kuvassa 43 on esitetty maaenergia- ja kaukolämpöratkaisujen hiilidioksidipäästöt vuodessa, kun sähkön päästökerroin on vakio 138 tCO<sub>2</sub>/MWh ja lämmön päästökertoimia muutetaan Turku Energian nykyisen 351 tCO<sub>2</sub>/MWh ja ympäristöohjelmassa vuodelle 2020 määritellyn tavoitekertoimen 225 tCO<sub>2</sub>/MWh välillä. Kokeiltiin myös, kuinka SYK kampusten pienin päästökerroin 77 tCO<sub>2</sub>/MWh(Vaasa) vaikuttaisi tässä kohteessa päästövähennykseen. Vaasan päästökertoimella lämpöpumpulla saatava hyöty päästöjen vähentämisessä selvästi heikkenisi. Kaukolämmön päästökertoimen pieneneminen edes tasolle 225 tCO<sub>2</sub>/MWh vähentää päästöjä selvästi enemmän, kuin mikä vaikutus käytetyllä sähkön päästökertoimella on. Huomattavaa kuitenkin on, että vielä Turku Energian lämmön päästökertoimen ollessa tavoitteen mukainen 225 tCO<sub>2</sub>/MWh, on maaenergiaratkaisun vuosittaiset päästöt vain noin 51 % kaukolämpöratkaisun päästöistä.



Kuva 43. Juslenia maaenergiaratkaisun päästövertailu lämmön päästökertoimilla 351, 225 ja 77 tCO<sub>2</sub>/MWh

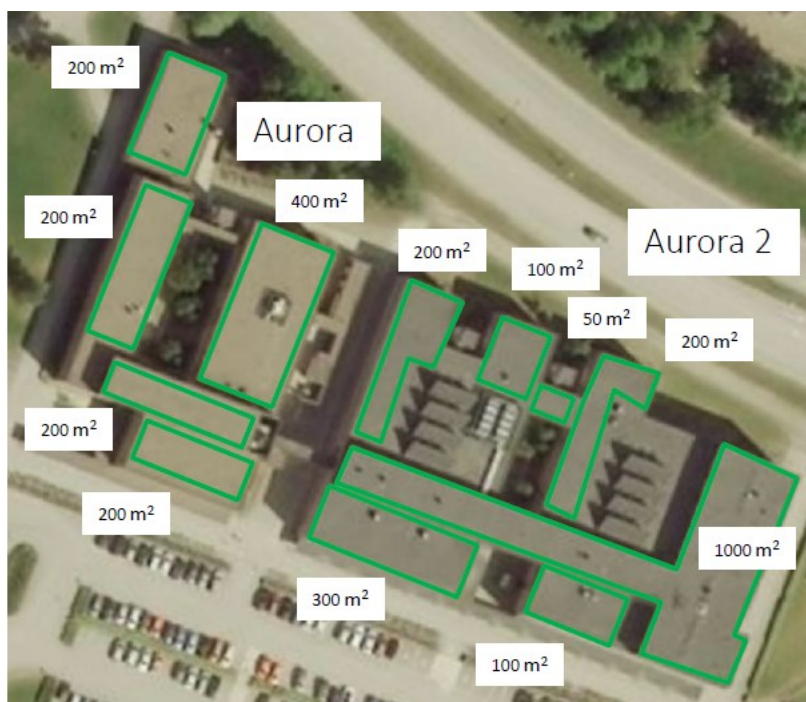
Päästöjä vertailtiin myös 50 vuoden elinkaaren ajalla kuvassa 44. Tarkastelussa oletettiin, että Turku Energian kaukolämmön päästökerroin on tavoitteensa mukaisesti 225 tCO<sub>2</sub>/MWh vuodesta 2020 alkaen ja hypoteettisesti, että Turun kaupunki saavuttaa tavoitteensa olla hiilineutraali vuonna 2040 ja tästä eteenpäin kaukolämmön päästökerroin on nolla. Tarkastelussa Sähkön päästökertoimena käytettiin sekä sähkönmyyjä Hanselin kerrointa (K1), että Suomen keskimääräistä kerrointa (K2).



Kuva 44. Juslenia rakennuksen kaukolämpö ja maaenergiaratkaisun päästöjen elinkaarivertailu

### 6.3 Aurinkosähköselvitys

Esiselvityksen perusteella SYK edustajat valitsivat Joensuun kampuksen aurinkosähköselvityksen kohteeksi. Joensuun kampusalueelta selvitykseen valikoitui Aurora 2 rakennus sen isoimman kattopinta-alan takia ja parhaan kampuskohtaisen tuottopotentialin takia. Esiselvityksen perusteella Aurora 2 katolle voitaisiin asentaa 211 kW<sub>p</sub> aurinkosähköjärjestelmä, joka tuottaisi vuodessa 16 %, eli 190 MWh, rakennuksen sähkönkulutuksesta. Tarkempi selvitys päätettiin toteuttaa myös viereiseen Aurora 1 rakennukseen. Aurora 1 potentiaali oli 28 % nykyisestä sähkönkulutuksesta. Tarkemmalla selvityksellä halutaan tutkia, mikä % -osuus rakennuksesta on mahdollista tuottaa aurinkosähköjärjestelmällä ilman ylituotantoa. Yhden rakennuksen perusteella ei voida tehdä täysin pätevää yleistystä, mutta sitä voidaan käyttää suuntaa antavana oletuksena SYK:n muille rakennuksille. Rakennusten kattojen potentiaalinen pinta-ala aurinkosähköpaneelille on esitetty kuvassa 45.



Kuva 45. Aurora 1 ja Aurora 2 rakennusten kattokuvat

Ensiksi tässä kappaleessa käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen ja kustannuslaskennan parametrit. Tämän jälkeen esitellään aurinkosähköselvityksien laskentata-pauskohtaiset tulokset. Lopuksi käsitellään aurinkosähköjärjestelmien vaikutukset päästöjen vähentämisen eri sähkön päästökertoimilla ja investoinnin kustannusten suhde päästövähennemään.

#### 6.3.1 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja kustannuslaskenta

Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuden arvioinnissa ja mitoittamisessa suuri merkitys on kohteen sähkönkulutuksen profiililla. Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen suoritetaan tuntikohtaista sähkönkulutusdataa ja tuntikohtaista auringon säteilydataa hyväksi käyttäen Excel-laskentatyökalulla. Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotantoa verrataan rakennuksen tuntitason sähkönkulutukseen, mikä mahdollistaa arvion rakennuksen omaan käyttöön hyödynnettävissä olevasta sähkön ja ylituotetun sähkön määrästä. Mitoituksen kriteereinä käytetään laskentatapauksesta riippuen järjestelmän kustannustehokkuutta sekä aurinkosähköjärjestelmän suurinta mahdollista hyödynnettävää kattopinta-alaa.

Mitoituksessa käytetään paneelien kallistuskulmana  $15^\circ$ , sillä tällöin paneelit voidaan asentaa kelluvalla asennuksella eikä kattoon tarvitse tehdä läpivientejä. Tällöin asennusalueita on myös mahdollista muokata jälkikäteen tarvittaessa esimerkiksi kattovuodon korjauksen tai kattopinnoitteen uusinnan yhteydessä. Kun paneelien asennuspinta-ala on rajoitettu, kuten kattoasennuksissa aina, kannattaa pieni kallistuskulma myös sen takia, että paneelit varjostavat toisiaan vähemmän ja niitä mahtuu katolle enemmän. Suuntauskulmana laskelmissa käytetään  $20^\circ$  etelästä länteen, koska rakennukset on suunnattu näin.

Elinkaarilaskelmat perustuvat nettonykyarvolaskentaan. Elinkaarilaskelmissa otetaan huomioon aurinkosähköjärjestelmän hankinta ja asennuskustannukset sekä laitteistosta saatava sähköenergian tuotto. Elinkaarilaskenta toteutetaan siten, että ylituotetulle sähkölle asetetaan myyntihinnaksi 0 €, eli sitä ei oleteta myytävän takaisin sähköverkkoon. Muut laskennassa käytettävät parametrit on esitelty alla:

- Sähkön kuluttajahinta eli sähköenergian ja sähkön siirron ostohinta veroineen [€/MWh]: 100
- Aurinkosähköpaneelien ominaisteho [ $\text{W/m}^2$ ]: 1000
- Paneelihyötysuhde [%]: 16,21
- Arvio ostosähkön hinnan noususta, sähkön eskalaatio [%] per vuosi: 2,0
- Järjestelmän investointikustannus, avaimet käteen asennus ALV 0 % [ $\text{€/kW}_p$ ]: 1 100
- Järjestelmän suunnittelu ja valvontakustannus [€]: 3 500
- Investointituki (Tekes 2017) [%]: 25
- Invertterin vaihdon kustannus alkuinvestoinnista (15 vuoden välein) [%]: 10
- Aurinkosähkövoimalan vuosittainen sähköntuotannon väheneminen [%]: -0,5

IRR eli sisäinen korkokanta on hyvä mittari kertomaan aurinkosähköjärjestelmän investoinnin kannattavuudesta, kun pääoma siihen sijoitetaan itse. Kun investoinnilla haetaan taloudellista tuottoa, kannattaa järjestelmä mitoittaa siten, että takaisin verkkoon syötetyn aurinkosähkön osuus jää mahdollisimman pieneksi. Sähköyhtiöt maksavat takaisin verkkoon syötetystä sähköstä yleensä vain sähkön tukkuhinnan 2-6 snt/kWh ja vähentävät tästä vielä mahdollisen palvelumaksun. (Finsolar 2017)

### 6.3.2 Aurora 2 aurinkosähköselvitys

Tässä kappaleessa on esitelty ensin Aurora 2 rakennuksen kaksi aurinkosähköjärjestelmän mitoistustapaa. Ensimmäisessä laskentatapauksessa etsitään optimi aurinkopaneelien pinta-ala, jolla aurinkosähköjärjestelmän suora takaisinmaksuaika on lyhin mahdollinen. Toisessa laskentatapauksessa koko katon käytössä oleva pinta-ala,  $1950 \text{ m}^2$ , täytetään aurinkopaneeleilla. Tuloksena kummastakin laskentatapauksesta esitetään investoinnin takaisinmaksuaika ja sisäinen tuotto %, eli IRR, sekä tuotettavissa oleva aurinkosähköenergia vuodessa ja sen osuus vuoden 2016 sähkökulutuksesta. Lopuksi on esitetty tuloksien vertailu ja yhteenveto. Aurora 2 rakennuksen vuoden 2016 sähkönkulutus oli 1 199 MWh.

#### 6.3.2.1 Laskentatapaus 1, min TMA

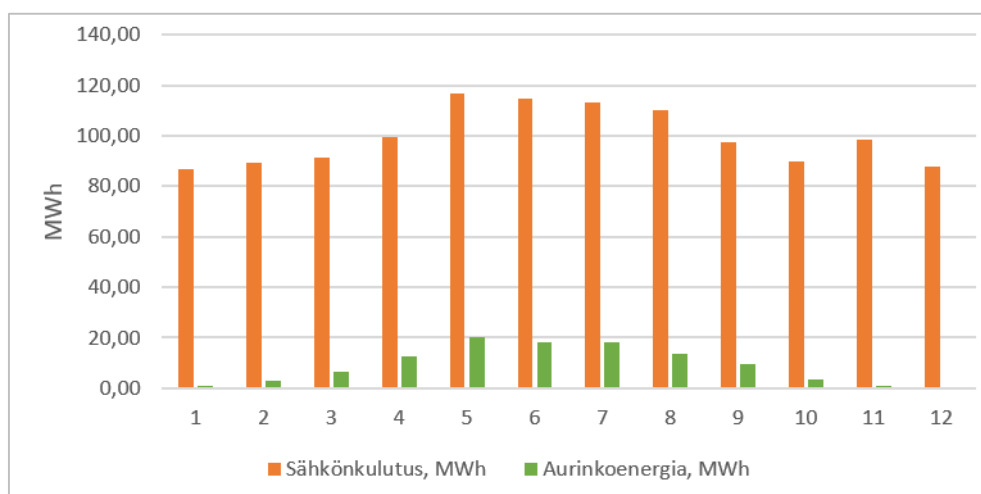
Ensimmäisessä laskentatapauksessa mitoitetiin aurinkosähköjärjestelmä siten, että sen suora takaisinmaksuaika on lyhin mahdollinen. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 23. Aurinkosähköpaneelien alaksi asettui laskennan perusteella  $860 \text{ m}^2$ , joka vastaa teh-

taan 139 kW järjestelmää ja tuo kustannushyötyä ostosähkössä 10 700 € vuodessa. Investointikustannus on noin 157 000 € ilman tukea ja 118 000 € investointituen kanssa. Pienin mahdollinen takaisinmaksuaika järjestelmälle on 14,6 vuotta, kun ei huomioida investointitukea, paneelien tuottoalenemaa tai invertterin uusimista. Uusiutuvan energian 25 % investointituen, 2 % sähkönhinnan eskalaation, 0,5 %/a paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusimisen kanssa takaisinmaksuaika on vain 10,2 vuotta. Paneelit tuottaisivat yhteensä 108 MWh/a, joka kuluisi kiinteistössä käytännössä kokonaan (99,6 %). Investointituen kanssa investoinnin sisäinen korko 30 vuoden ajalta olisi hyvä, noin 11 %.

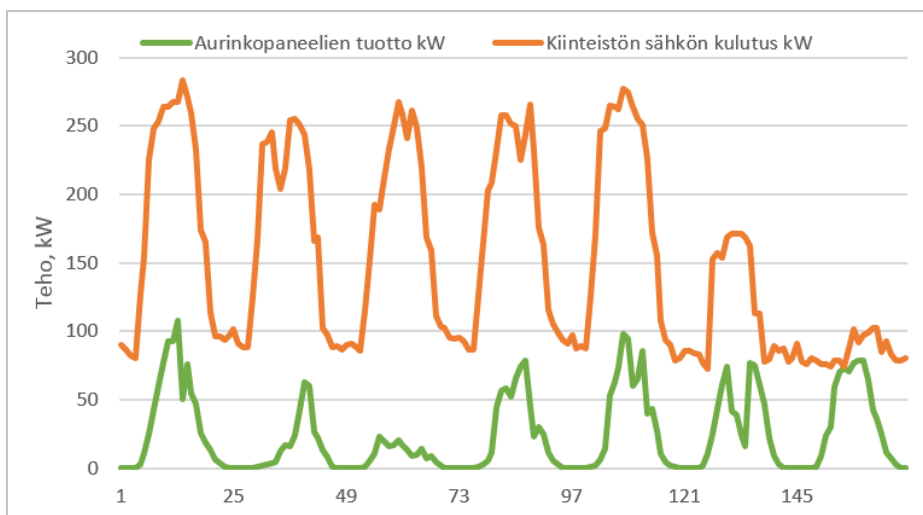
*Taulukko 23. Aurora 2 aurinkosähköselvityksen tulokset, min TMA*

Tekniset tiedot	[ min TMA ]	
paneelien pinta-ala, m <sup>2</sup>	860	
kentän teho, kW	139	
omaan käyttöön tuotettu sähkö, MWh/a	108	
ylituotanto, MWh/a	0,5	
hyödynnettävän energian osuus, %	99,6 %	
osuus sähkönkulutuksesta, %	9 %	
Kustannustiedot	Ei tukea	Tuki 25 %
Investointikustannus, €	156 847	117 635
Invertterin uusiminen, €/15a	– 15 685	– 15 685
Kustannushyöty €/a	10 733	10 733
Suora takaisinmaksuaika, a	14,6	11,0
Takaisinmaksuaika(sisältäen sähkönhinnan eskalaation, paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusinnan), a	13,3	10,2
Nettonykyarvo, 30 vuotta	229 763	268 974
Sisäinen korko, 20 vuotta	5 %	9 %
Sisäinen korko, 30 vuotta	7 %	11 %
Sisäinen korko, 50 vuotta	8 %	11 %

Kuvassa 46 on esitetty tuotetun aurinkosähkön jakautuminen kuukausille ja sen suhde nykyiseen sähkönkulutukseen. Kuvassa 47 on esitetty esimerkin omaisesti tuntitasolla yhden viikon aurinkosähkön tuotto suhteessa rakennuksen sähkönkulutukseen. Kuvasta nähdään, että lähes kaikki tuotettu aurinkosähkö voidaan käyttää rakennuksessa.



**Kuva 46. Aurinkoenergian tuotto kuukausittain suhteessa nykyiseen sähkönkulutukseen, Aurora 2 las-  
kentatapaus 1**



Kuva 47. Esimerkki yhden viikon ajalta heinäkuussa, Aurora 2 laskentatapaus 1

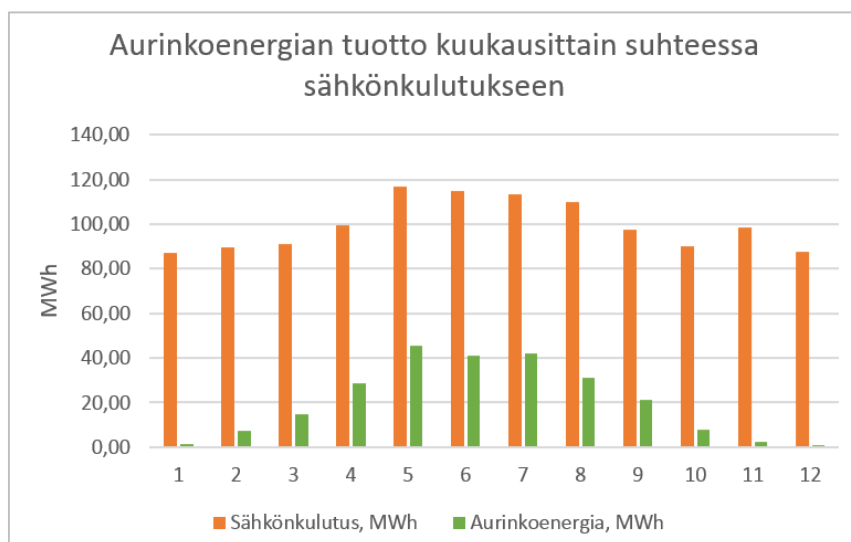
### 6.3.2.2 Laskentatapaus 2, 1950 m<sup>2</sup>

Toisessa laskentatapauksessa mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä siten, että rakennuksen koko käytössä oleva kattopinta-ala täytetään aurinkosähköpaneelilla. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 24. Aurinkosähköpaneelien alaksi asetettiin 1950 m<sup>2</sup>, joka vastaa laskennan mukaan teholtaan 316 kW<sub>p</sub> järjestelmää ja tuo kustannushyötyä ostosähkössä 23 080 € vuodessa. Pienin mahdollinen takaisinmaksuaika ilman tukia tai sähkönhinnan eskalaatiota oli tässä tapauksessa 15,2 vuotta. Uusiutuvan energian 25 % investointituen, 2 % sähkönhinnan eskalaation, 0,5 % /a paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusimisen kanssa takaisinmaksuaika on vain 10,6 vuotta. Paneelit tuottaisivat yhteensä 244 MWh vuodessa, josta kiinteistössä voitaisiin hyödyntää 94 %. Kiinteistössä hyödynnettävän aurinkosähkön osuus olisi näin ollen 19 % rakennuksen sähkönkulutuksesta vuositasolla. Ylituotantoa 1950 m<sup>2</sup> aurinkosähköjärjestelmällä tulisi 14 MWh vuodessa.

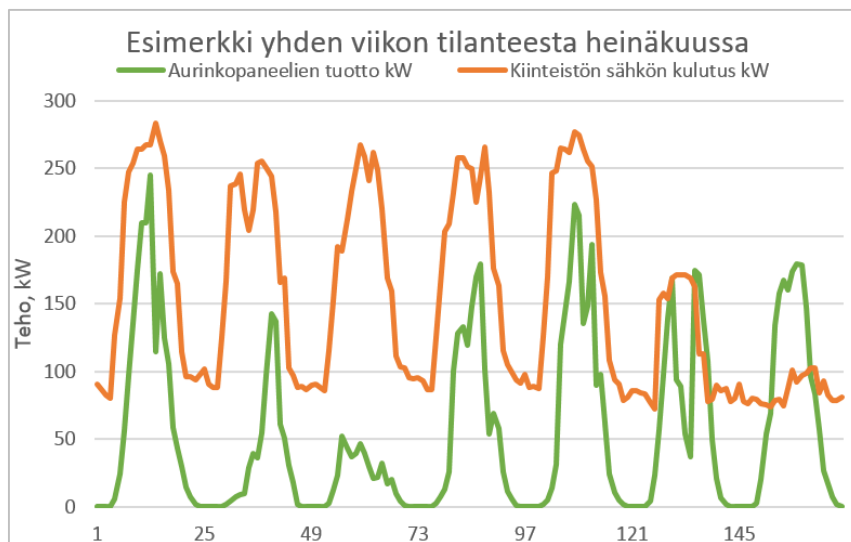
Taulukko 24. Aurora 2 aurinkosähköselvityksen tulokset, aurinkosähköpaneelien pinta-ala 1950 m<sup>2</sup>

Tekniset tiedot	[ 1950 m <sup>2</sup> ]	
paneelien pinta-ala, m <sup>2</sup>	1950	
kentän teho, kW	316	
omaan käyttöön tuotettu sähkö, MWh/a	244	
ylituotanto, MWh/a	13,6	
hyödynnettävän energian osuus, %	94,4 %	
osuus sähkönkulutuksesta, %	19 %	
Kustannustiedot	Ei tukea	Tuki 25 %
Investointikustannus, €	351 205	263 403
Invertterin uusiminen, €/15a	– 35 120	– 35 120
Kustannushyöty €/a	23 082	23 082
Suora takaisinmaksuaika, a	15,2	11,4
Takaisinmaksuaika(sisältäen sähkönhinnan eskalaation, paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusinnan), a	13,7	10,6
Nettonykyarvo, 30 vuotta	478 824	566 625
Sisäinen korko, 20 vuotta	4 %	8 %
Sisäinen korko, 30 vuotta	7 %	10 %
Sisäinen korko, 50 vuotta	8 %	11 %

Kuvassa 48 on esitetty tuotetun aurinkosähkön jakautuminen kuukausille ja sen suhde nykyiseen sähkönkulutukseen. Aurinkosähkön tuotto on suurimmillaan toukokuussa ja kesäkuukausina. Myös rakennuksen sähkönkulutus on suurinta kesällä. Kuvassa 49 on esitetty esimerkin omaisesti tuntitasolla yhden viikon aurinkosähkön tuotto suhteessa rakennuksen sähkönkulutukseen. Kuvasta nähdään, että aurinkosähkön tuotto myötäilee sähkönkulutuksen profiilia mutta tuotto hetkittäin ylittää kulutuksen, jonka takia osa aurinkosähkön tuotosta hukataan.



Kuva 48. Aurinkoenergian tuotto kuukausittain suhteessa nykyiseen sähkönkulutukseen, Aurora 2 laskenta-tapaus 2



Kuva 49. Esimerkki yhden viikon ajalta heinäkuussa, Aurora 2 laskentatapaus 2

### 6.3.2.3 Yhteenveto

Takaisinmaksuajan puitteissa tässä aurinkosähköselvityksessä tarkastellut 2 skenaariota eroavat toisistaan alle vuodella. Myös sisäinen korko 30 vuoden ajalta on laskentatapauksissa hyvin lähellä toisiaan, noin 7 % ilman investointitukea ja 10–11% investointituen kanssa. 860 m<sup>2</sup> järjestelmällä tuotettu sähkö voidaan kuluttaa kiinteistössä käytännössä kokonaan ja se vastaa vuosittaisesta kiinteistön sähkönkulutuksesta 9 % osuutta. Koko vapaan kattoalan peittävällä järjestelmällä saadaan tuotettua sähköenergiaa jopa 19 % kiinteistön

kokonaissähköenergiankulutuksesta, mutta ylijäämäsähköä paneelien tuotosta on 5,4 % (13,6 MWh/a). Euroissa tämä on kuitenkin vain 270–820 €/a, jos verkkoon takaisin myytävän sähkön hinnaksi arvioidaan 20–60€/MWh.

### 6.3.3 Aurora 1 aurinkosähköselvitys

Tässä kappaleessa on esitelty ensin Aurora 1 rakennuksen kolme aurinkosähköjärjestelmän mitoitustapausta (suluissa laskentatapauksesta myöhemmin käytetty lyhyt nimitys):

- Lyhin mahdollinen suora takaisinmaksuaika (min TMA)
- Koko kattopotentialin täyttäminen (1200m<sup>2</sup>)
- Aurinkosähköpaneelilla tuotetusta sähköenergiasta 90 % hyödynnettävissä rakennuksessa (90 %).

90 % -laskentatapausta haluttiin tarkastella siitä syystä, että löydettäisiin jokin keskiarvo, jolla aurinkosähköjärjestelmän päästöjen vähentämisvaikutus on luultavasti suurempi kuin lyhimmän takaisinmaksuajan aurinkosähköjärjestelmällä, ja sen ylituotanto on vielä melko pientä.

Tuloksena kaikista laskentatapauksesta esitetään investoinnin takaisinmaksuaika ja sisäinen tuotto %, eli IRR sekä tuotettavissa oleva aurinkosähköenergia vuodessa ja sen osuus vuoden 2016 sähkökulutuksesta. Lopuksi on esitetty yhteenveto laskentatapauksista. Aurora 1 rakennuksen vuoden 2016 sähkökulutus oli 413 MWh.

#### 6.3.3.1 Laskentatapaus 1, min TMA

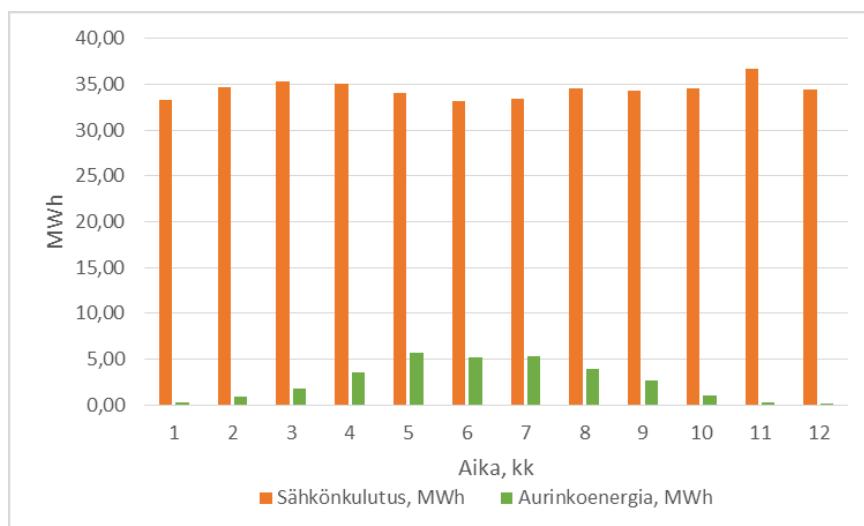
Ensimmäisessä laskentatapauksessa mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä siten, että sen suora takaisinmaksuaika on lyhin mahdollinen. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 25. Aurinkosähköpaneelien alaksi asettui 244m<sup>2</sup>, joka vastaa teholtaan 40 kW<sub>p</sub> järjestelmää ja tuo kustannushyötyä ostosähkössä noin 3 000 € vuodessa. Investointikustannus on noin 47 000 € ilman tukea ja 35 000 € investointituen kanssa. Pienin mahdollinen TMA ilman tukia tai sähkönhinnan eskalaatiota oli tässä tapauksessa 15,6 vuotta, kun ei huomioida investointitukea, paneelien tuottoalenemaa tai invertterin uusimista. Uusiutuvan energian 25 % investointituen, 2 % sähkönhinnan eskalaation, 0,5 %/a paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusimisen kanssa takaisinmaksuaika oli 10,9 vuotta. Paneelit tuottaisivat yhteensä noin 30,6 MWh vuodessa, josta kiinteistössä voitaisiin hyödyntää noin 98 %. Kiinteistössä hyödynnettävän aurinkosähkön osuus olisi 7 % rakennuksen sähkökulutuksesta vuositasolla. Investointituen kanssa investoinnin sisäinen korko 30 vuoden ajalta olisi hyvä, noin 10 %.



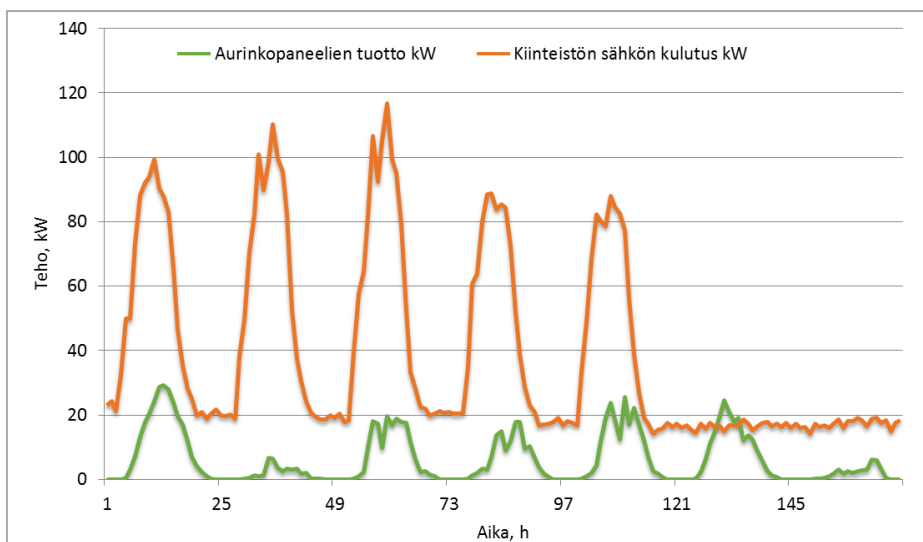
Taulukko 25. Aurora 1 aurinkosähköselvityksen tulokset, min TMA

Tekniset tiedot	[ min TMA ]	
Paneelien pinta-ala, m <sup>2</sup>	244	
Kentän teho, kW	40	
Omaan käyttöön tuotettu sähkö, MWh/a	30	
Ylituotanto, MWh/a	0,6	
Hyödynnettävän energian osuus, %	98 %	
Osuus sähkönkulutuksesta, %	7 %	
Kustannustiedot	Ei tukea	Tuki 25 %
Investointikustannus, €	47 008	35 256
Invertterin uusiminen, €/15a	– 4 701	– 4 701
Kustannushyöty €/a	3 018	3 018
Suora takaisinmaksuaika, a	15,6	11,7
Takaisinmaksuaika(sisältäen sähkönhinnan eskalaation, paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusinnan), a	14,1	10,9
Nettonykyarvo, 30 vuotta	61 418	73 170
Sisäinen korko, 20 vuotta	4 %	8 %
Sisäinen korko, 30 vuotta	7 %	10 %
Sisäinen korko, 50 vuotta	8 %	10 %

Kuvassa 50 on esitetty tuotetun aurinkosähkön jakautuminen kuukausille ja sen suhde nykyiseen sähkönkulutukseen. Kuvassa 51 on esitetty esimerkin omaisesti tuntitasolla yhden viikon aurinkosähkön tuotto suhteessa rakennuksen sähkönkulutukseen. Kuvasta nähdään, että lähes kaikki tuotettu aurinkosähkö voidaan käyttää rakennuksessa.



Kuva 50. Aurinkoenergian tuotto kuukausittain suhteessa nykyiseen sähkönkulutukseen, Aurora 1 laskentatapaus 1



Kuva 51. Esimerkki yhden viikon ajalta heinäkuussa, Aurora 1 laskentatapaus 1

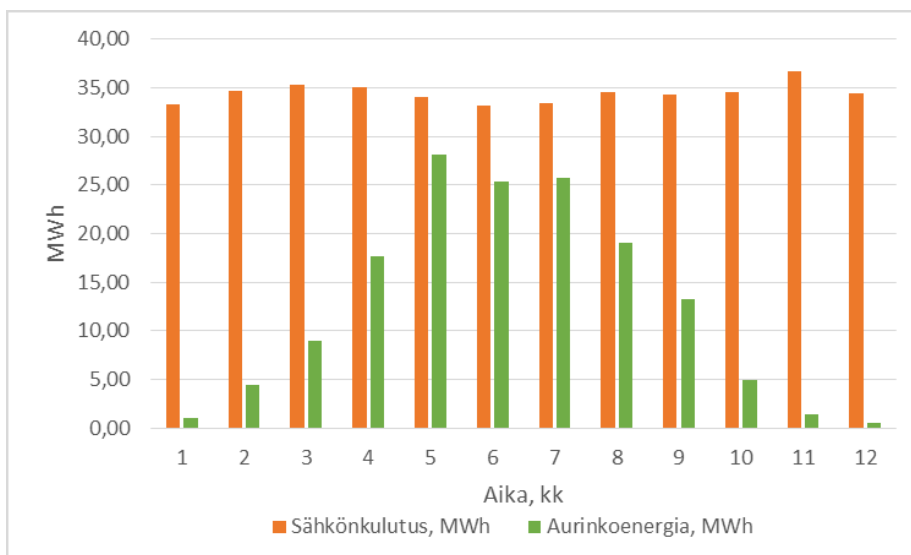
### 6.3.3.2 Laskentatapaus 2, 1200 m

Toisessa laskentatapauksessa mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä siten, että rakennuksen koko käytössä oleva kattopinta-ala täytetään aurinkosähköpaneelilla. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 26. Aurinkosähköpaneelien alaksi asetettiin siis 1200 m<sup>2</sup>, joka vastaa teholtaan 195 kW<sub>p</sub> järjestelmää ja tuo kustannushyötyä ostosähkössä noin 11 000 € vuodessa. Pienin mahdollinen TMA ilman tukia tai sähkönhinnan eskalaatiota oli tässä tapauksessa 19 vuotta. Uusiutuvan energian 25 % investointituen, 2 % sähkönhinnan eskalaation, 0,5 % /a paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusimisen kanssa takaisinmaksuaika on 13 vuotta. Paneelit tuottaisivat yhteensä 150,5 MWh vuodessa, josta kiinteistössä voitaisiin hyödyntää 75,5 %. Kiinteistössä hyödynnettävän aurinkosähkön osuus olisi näin ollen 27 % rakennuksen sähkönkulutuksesta vuositasolla. Ylituotantoa 1200 m<sup>2</sup> aurinkosähköjärjestelmällä tulisi 37 MWh vuodessa.

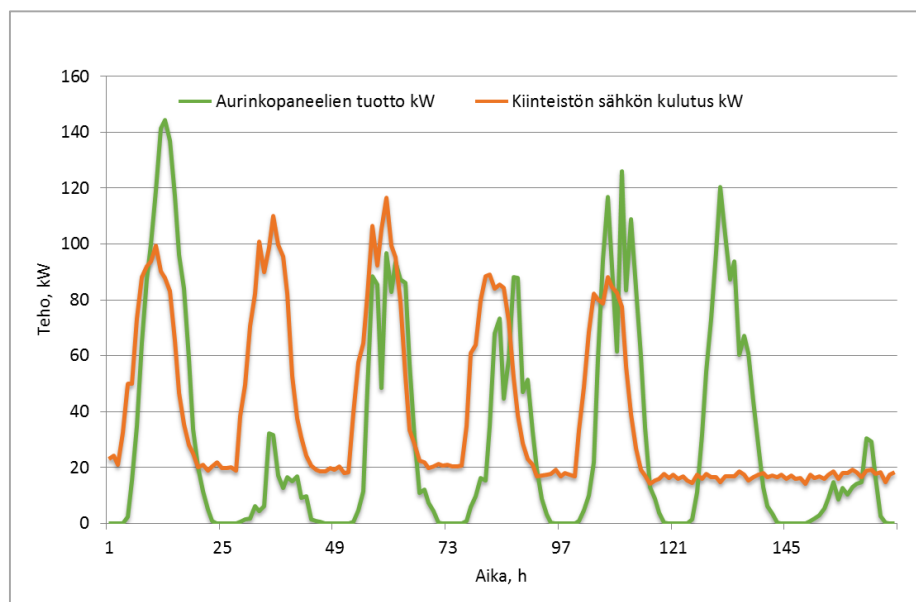
Taulukko 26. Aurora 1 aurinkosähköselvityksen tulokset, aurinkosähköpaneelien pinta-ala 1200 m<sup>2</sup>

Tekniset tiedot		[ 1200 m <sup>2</sup> ]	
Paneelien pinta-ala, m <sup>2</sup>		1 200	
Kentän teho, kW		195	
Omaan käyttöön tuotettu sähkö, MWh/a		114	
Ylituotanto, MWh/a		37	
Hyödynnettävän energian osuus, %		75 %	
Osuus sähkönkulutuksesta, %		27 %	
Kustannustiedot		Ei tukea	Tuki 25 %
Investointikustannus, €		217 472	163 104
Invertterin uusiminen, €/15a		- 21 747	- 21 747
Kustannushyöty €/a		11 422	11 422
Suora takaisinmaksuaika, a		19,0	14,3
Takaisinmaksuaika(sisältäen sähkönhinnan eskalaation, paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusinnan), a		18,4	13,0
Nettonykyarvo, 30 vuotta		188 870	243 238
Sisäinen korko, 20 vuotta		2 %	5 %
Sisäinen korko, 30 vuotta		5 %	7 %
Sisäinen korko, 50 vuotta		6 %	8 %

Kuvassa 52 on esitetty tuotetun aurinkosähkön jakautuminen kuukausille ja sen suhde nykyiseen sähkönkulutukseen. Aurinkosähkön tuotto on suurimmillaan toukokuussa ja kesäkuukausina, jolloin se yltää lähes rakennuksen sähkönkulutuksen tasolle kuukausitasolla tarkasteltuna. Kuvasta 53 kuitenkin nähdään, että osa aurinkosähköstä tuotetaan aikana, jolloin rakennuksessa ei ole juurikaan sähkönkulutusta, josta johtuu tämän laskentatapauksen suuri ylituotanto.



Kuva 52. Aurinkoenergian tuotto kuukausittain suhteessa nykyiseen sähkönkulutukseen, Aurora 1 laskentatapaus 2



Kuva 53. Esimerkki yhden viikon ajalta heinäkuussa, Aurora 1 laskentatapaus 2

### 6.3.3.3 Laskentatapaus 3, 90 %

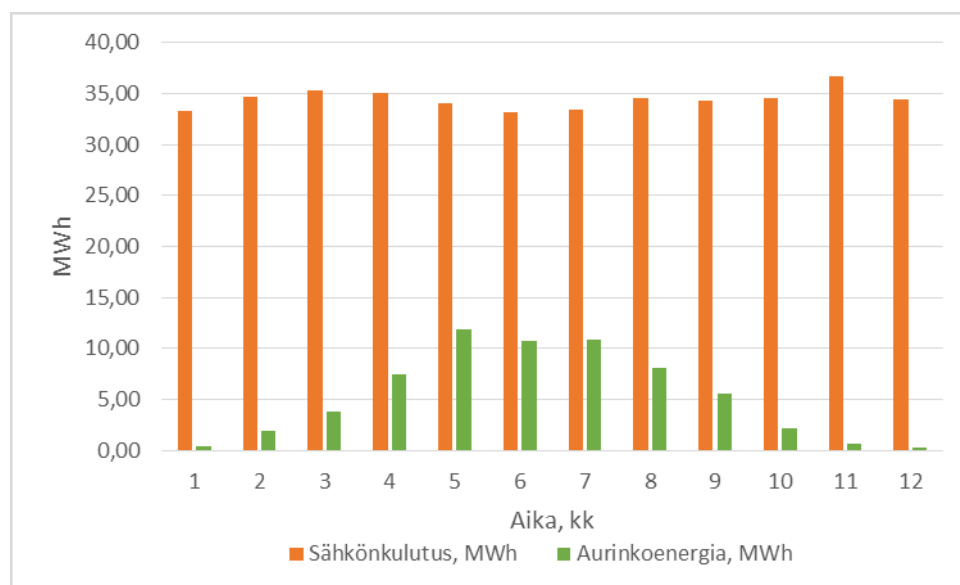
Kolmannessa laskentatapauksessa mitoitettiin aurinkosähköjärjestelmä siten, että sen tuotetusta sähköstä 90 % pystytään käyttämään kiinteistössä. 10 % järjestelmän sähköenergiantuotosta on siis ylituotantoa, jolle ei myöskään ole laskettu takaisinmyyntihintaa verkkoyhtiölle. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 27. Aurinkosähköpaneelien alaksi asetui 505 m<sup>2</sup>, joka vastaa teholtaan 82 kW<sub>p</sub> järjestelmää ja tuo kustannushyötyä ostosähkössä noin

5 700 € vuodessa. Pienin mahdollinen TMA ilman tukia tai sähkönhinnan eskalaatiota oli tässä tapauksessa 16,3 vuotta. Uusiutuvan energian 25 % investointituen, 2 % sähkönhinnan eskalaation, 0,5 % /a paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusimisen kanssa takaisinmaksuaika on 11,8 vuotta. Paneelit tuottaisivat yhteensä 63,3 MWh vuodesta, josta kiinteistössä voitaisiin hyödyntää laskentatapauksen mukaisesti 90 %, eli noin 57 MWh/a. Kiinteistössä hyödynnettävän aurinkosähkön osuus olisi näin ollen 14 % rakennuksen sähkönkulutuksesta vuositasolla.

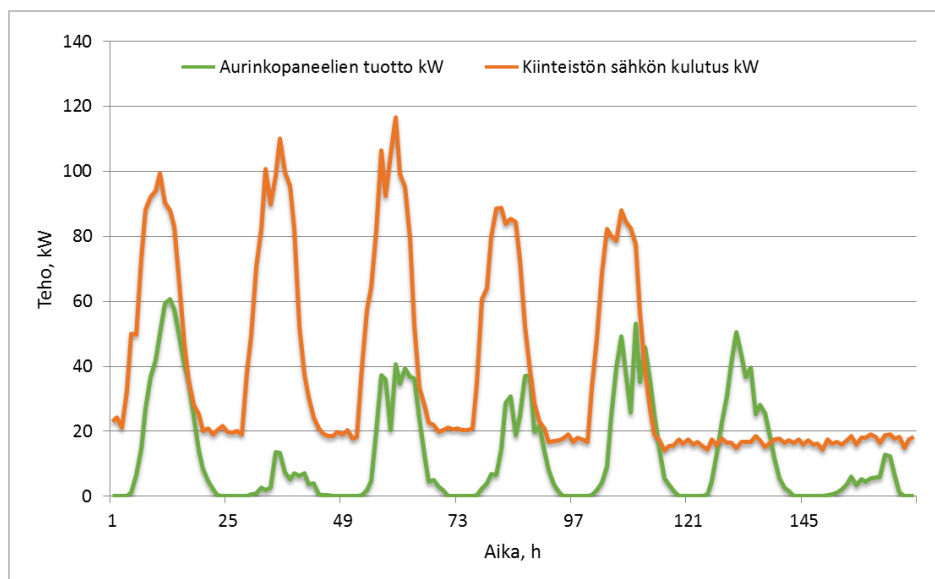
*Taulukko 27. Aurora 1 aurinkosähköselvityksen tulokset, laskentatapaus 90 %*

Tekniset tiedot		[ 90 % ]	
Paneelien pinta-ala, m <sup>2</sup>		505	
Kentän teho, kW		82	
Omaan käyttöön tuotettu sähkö, MWh/a		57	
Ylituotanto, MWh/a		6	
Hyödynnettävän energian osuus, %		90 %	
Osuus sähkönkulutuksesta, %		14 %	
Kustannustiedot		Ei tukea	Tuki 25 %
Investointikustannus, €		93 547	70 160
Invertterin uusiminen, €/15a		– 9355	– 9355
Kustannushyöty €/a		5735	5735
Suora takaisinmaksuaika, a		16,3	12,2
Takaisinmaksuaika(sisältäen sähkönhinnan eskalaation, paneelien tuottoaleneman ja invertterin uusinnan), a		14,7	11,8
Nettonykyarvo, 30 vuotta		112 036	135 422
Sisäinen korko, 20 vuotta		4 %	7 %
Sisäinen korko, 30 vuotta		6 %	9 %
Sisäinen korko, 50 vuotta		7 %	10 %

Kuvassa 54 on esitetty tuotetun aurinkosähkön jakautuminen kuukausille ja sen suhde nykyiseen sähkönkulutukseen. Aurinkosähkön tuotto on suurimmillaan toukokuussa ja kesäkuukausina, mutta osa tästä tuotosta ei ole mahdollista käyttää rakennuksen sähkönkulutuksen kattamiseen. Kuvasta 55 nähdään, että etenkin kesäviikonloppuna tuotetaan aurinkosähköä yli rakennuksen sähkönkulutuksen.



**Kuva 54. Aurinkoenergian tuotto kuukausittain suhteessa nykyiseen sähkönkulutukseen, Aurora 1 laskentatapaus 3**



Kuva 55. Esimerkki yhden viikon ajalta heinäkuussa, Aurora 1 laskentatapaus 3

#### 6.3.3.4 Yhteenveto

Alkuperäisen esiselvityksen perusteella Auroran katolla oli käytettävissä noin 1200 m<sup>2</sup> aurinkosähköpaneeleja varten. Esiselvityksen perusteella ja karkealla laskennalla kyseinen pinta-ala vastaisi noin 130 kW<sub>p</sub> tehoa ja 117 MWh tuotettua sähköenergiaa vuodessa. Tämä vastaa 28 prosenttia Aurora rakennuksen vuoden 2016 kokonaissähkönkulutuksesta. Tämän tarkemman aurinkosähköselvityksen perusteella huomataan kuitenkin, että koko kattoalaa ei ole järkevä täyttää, jos tarkoituksena on, että kaikki paneeleilla tuotettu sähkö voidaan käyttää kiinteistössä eikä ylimääräistä myydä verkkoon. Skenaarion 90 % -perusteella laskettu paneelien pinta-ala on 505 m<sup>2</sup> ja tällä tuotettu omaan käyttöön saatava energia 57 MWh vastaa 13,5 % rakennuksen vuoden 2016 kulutuksesta. Täyttämällä koko katto aurinkopaneeleilla, 1200 m<sup>2</sup>, voitaisiin tuottaa 27 % koko rakennuksen sähkönkulutuksesta, mutta tuotetusta aurinkosähköstä olisi ylituotantoa jopa 25 % (37 MWh/a). Euroissa tämä on 740–2220 €/a, jos verkkoon takaisin myytävän sähkön hinnaksi arvioidaan 20–60€/MWh. Lyhimmän takaisinmaksuajan tapauksessa on pienin ylituotanto, vain 1,9 %, mutta myös aurinkosähkön osuus rakennuksen energiankulutuksesta on pieni, vain 7 %.

Koko katon täyttämisen aurinkosähkölaitteiston takaisinmaksu-aika on muita laskentatapauksia merkittävästi pidempi, 2,7 vuotta 90 % laskentatapaukseen verrattuna ja 4,7 vuotta min TMA tapaukseen verrattuna.

Sisäinen korko 30 vuoden ajalta ei laskentatapauksissa merkittävästi poikkea toisistaan. Ilman investointitukea koko katon peittävällä aurinkosähkölaitteistolla sisäinen korko on 5 %, 90 % laskentatapauksessa 6 % ja pienimmällä takaisinmaksuajalla 7 %. Niin ikään ilman investointitukea korkein nettonykyarvo 30 vuoden ajalla on isoimmalla järjestelmällä, sillä investoinnin maksettua itsensä takaisin, se pienentää ostosähkön kulutusta eniten ja tuottaa suurempia säästöjä pienempiä aurinkosähkölaitteistoja nopeammin.

#### 6.3.4 Aurinkosähkölaitteistojen CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentymän tarkastelu

Aurinkosähkölaitteistojen avulla voidaan vähentää kiinteistön ostosähköenergian kulutusta ja samalla tästä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen suuruutta. Taulukoissa 28 ja 29 on esitetty Aurora 1 ja Aurora 2 rakennusten eri laskentatapauksien aurinkosähkölaitteistojen päästöjen vähentyminen sekä sähkönmyyjän (138,2 kgCO<sub>2</sub>/MWh) että Suomen keskimääräisellä säh-

kön päästökertoimella (181 kg CO<sub>2</sub>/MWh). Luonnollisesti suuremmalla aurinkosähköjärjestelmällä saadaan säästettyä suurempi määrä ostosähköä ja päästöjä vähentävä vaikutus on suurin. Investoinnin ja päästöjen vähentymisen suhde vaihtelee välillä 7,9–10,4 €/kg CO<sub>2</sub>, kun investoinnissa on huomioitu uusiutuvan energian investointituki 25 %. Kun tukea ei ole huomioitu, vaihtelee suhde välillä 10,6–13,9 €/kg CO<sub>2</sub>.

*Taulukko 28. Aurora 2 aurinkosähköjärjestelmän päästötarkastelu*

	min TMA		1950 m <sup>2</sup>	
	Ei tukea	Tuki 25 %	Ei tukea	Tuki 25 %
investointikustannus, €	156 847	117 635	351 205	263 403
omaan käyttöön tuotettu sähkö, MWh/a	107		231	
vähentyneet CO <sub>2</sub> -päästöt, K1, tCO <sub>2</sub> /a	15		32	
vähentyneet CO <sub>2</sub> -päästöt, K2, tCO <sub>2</sub> /a	19		42	
Aurora 2 rakennuksen vuoden 2016 sähkönkulutuksen päästöt olivat 199 tCO <sub>2</sub> (K1)				
investoinnin ja päästöjen vähentymän suhde, K1, €/kgCO <sub>2</sub>	10,6	7,9	11,0	8,3

*Taulukko 29. Aurora 1 aurinkosähköjärjestelmän päästötarkastelu*

	90 %		1200 m <sup>2</sup>		min TMA	
	Ei tukea	Tuki 25 %	Ei tukea	Tuki 25 %	Ei tukea	Tuki 25 %
investointikustannus, €	93 547	70 160	217 472	163 104	47 008	35 256
omaan käyttöön tuotettu sähkö, MWh/a	57		114		30	
vähentyneet CO <sub>2</sub> -päästöt, K1, tCO <sub>2</sub> /a	8		16		4	
vähentyneet CO <sub>2</sub> -päästöt, K2, tCO <sub>2</sub> /a	10		21		5	
Aurora 1 rakennuksen vuoden 2016 sähkönkulutuksen päästöt olivat 69 tCO <sub>2</sub> (K1)						
investoinnin ja päästöjen vä- hentymän suhde. K1. €/kgCO <sub>2</sub>	11,9	8,9	13,9	10,4	11,3	8,5

## 6.4 Vesistölämpöselvitys

Tässä kappaleessa on esitetty esiselvityksen perusteella valitulle kampukselle tuotettu vesistölämpöselvitys. Aluksi esitellään kohteen valintakriteerit sekä kohde esitellään lyhyesti. Energiaselvitys pitää sisällään vesistölämpöpumpputjärjestelmän kuvauksen ja laiteoimittajan tekemän mitoituksen, kannattavuuslaskelmat laskentakorot huomioivalla takasinmaksuajan menetelmällä ja päästövähennävertailun nykyiseen lämmitysjärjestelmään verrattuna.

### 6.4.1 Kohteen valinta ja esittely

Ylistönrinteen kampus Jyväskylässä valikoitui vesistölämpöselvityksen kohteeksi. Vesistölämpöpumpulla tuotettaisiin mahdollisesti lämmitysenergia rakennuksille, joiden yhteenlaskettu lämmönkulutus vuonna 2016 oli 6 593 MWh, eli noin 3,9 % koko SYK:n mitatusta lämmitysenergian kulutuksesta. Vesistölämpöpumpulla voitaisiin tuottaa lämmitysenergia fysiikan- ja kemian laitosrakennuksille sekä Ambioticalle, jotka sijaitsevat saman tontille tulevan kaukolämpöhaaran takana.

Järven pohjan tila oli selvitetty Granlundin tekemän Agoran kiinteistön uusiutuvan energian selvityksen yhteydessä, jossa tutkittiin mm. jäähdytyksen käyttöä järvestä. Ylistönrinteen

edustalla olevan Jyväsjärven pohja ei ole saastunut, eikä täten aiheuta esteitä järvilämpöpumpun asentamiselle. Jos lahti olisi kovin saastunut, niin oletettavasti pohjaan ei saisi puuttua ollenkaan esimerkiksi asentamalla vedenottoputkea.

Ylistönrinteen tontti ei yletä rantaan asti, vaan rannassa kulkee kaupungin omistama ulkoi-lureitti. Kaupungilta vaaditaan lupa lämmönvaihtimen upottamiseen rantatontille ja yhdys-putkien vetämiseen tontin yli SYK tontille.



Kuva 56. Ylistönrinteen tontin rajat (Paikkatietoikkuna 2017)

#### 6.4.2 Järjestelmän kuvaus ja mitoituskriteerit

Järjestelmää verrataan nykyiseen täysin kaukolämmöllä toteutettuun energiantuotantoon rakennuksissa. Vesistölämpöpumpun tehohuiput on laskennassa ajateltu tuotettavan kaukolämmöllä. Laskennassa ei ole huomioitu kaukolämmön mahdollisesti korkeampaa hintaa mahdollisen hybridihinnoinnin takia. Energian toimitusvarmuuden takia SYK haluaa kaukolämmön pysyvän rinnalla toisena energiantuotantomuotona ja on myös ajateltu, että investoinnin toteutuksessa kumppaniksi otettaisiin joka tapauksessa Jyväskylän Energia. Laskennassa ei ole huomioitu mahdollista jäähdytyksen osuutta kesäaikaan, joka voisi parantaa investoinnin kannattavuutta.

#### 6.4.3 Vesistölämpöpumpun kannattavuuslaskenta

Vesistölämpöpumpun kannattavuuslaskenta perustuu Uponorin tekemään tarjoukseen joka löytyy tämän työn liitteestä 3. Lähtötiedoiksi tarjoukselle annettiin energiankulutus koh-teissa vuositason, rakennusten sijainti ja etäisyys rannasta.

Vesistölämpöpumpun mitoituksessa ja kustannusten kannattavuuslaskennassa käytetyt läh-töarvot ovat:

- Lämpöpumpulla tuotetun veden maksimi lämpötila [°C]: 60
- Vesistön minimilämpötila talvella [°C]: 1
- Vesistöön asennettavan putken pituus [m]: 100
- Yhdysputkien pituus siirtimen ja lämpöpumpun välillä [m]: 200
- Sähköenergian ja sähkön siirron ostohinta veroineen [€/MWh]: 90
- Kaukolämmön hinta [€/MWh]: 59,96
- Huoltokustannukset vuodessa [€/a]: 5000



- Arvio ostosähkön hinnan noususta, sähkön eskalaatio [%] per vuosi: 3,0
- Arvio kaukolämmön hinnan noususta, kaukolämmön eskalaatio [%] per vuosi: 3,0
- Arvio huoltokustannusten noususta, huollon hinnan eskalaatio [%] per vuosi: 3,0
- Lämpöpumpuinvestointi [€]: 500 000
- Asennuskustannukset [€]: 200 000
- Korkokanta [%]: 3,0
- Laskennassa on oletettu, että ylituotettu lämpöpumpulla tuotettu energia voidaan myydä kaukolämpöverkkoon.

Taulukossa 30 on esitetty Uponorin tarjouksessa olevien laskennan tuloksia energiantuotosta ja vesistölämpöpumpun COP-luvusta. Vuoden keskimääräinen COP-luku on 2,83 ja vesistölämpöpumpulla tuotetun energian energiapettoaste 63 %. Kaukolämmöllä tuotetaan siis vuodessa 38 % tarvittavasta lämmitysenergiasta. Vesistöstä saatavan ilmaisenergian osuus on noin 30 % rakennuksen lämmitysenergiankulutuksesta.

*Taulukko 30. Uponorin vesistölämpötarjouksen energiantuoton laskenta (Liite 3)*

Kuukausi	VLP tuotto [MWh/kk]	KL tuotto [MWh/kk]	Myytävä energia [MWh/kk]	Vesistön lämpö [°C]	Lämmitys COP-luku ±5 %
Tammikuu	223	727	0	1	2,69
Helmikuu	223	555	0	1	2,69
Maaliskuu	223	417	0	1	2,69
Huhtikuu	238	270	0	5	2,95
Toukokuu	306	76	133	10	3,22
Kesäkuu	253	63	180	19	3,5
Heinäkuu	258	65	176	19	3,5
Elokuu	274	69	166	19	3,5
Syyskuu	290	73	143	10	3,22
Lokakuu	321	206	0	10	3,22
Marraskuu	238	369	0	5	2,95
Joulukuu	223	635	0	1	2,69
Σ	3 068	3 525	798		2,83

Investoinnin kannattavuuslaskelmat on niin ikään esitetty Uponorin tarjouksessa liitteessä 3. Vesistölämpöpumpun asentamisella saavutetaan kustannussäästöjä nykyiseen kaukolämpöjärjestelmään verrattuna vuositasona noin 80 000 €, joka on tämän hetkistä kaukolämmön energiakustannuksista noin 20 %. Takaisinmaksuaika energianhintojen eskalaatiot, huollot ja korkokannat huomioiden on noin 8,8 vuotta. Tarjouksen laskennassa käytetyt energiahintojen eskalaatiot eroavat hieman maaenergiaselvityksen vastaavista.

Investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on hyvä. Vesistölämpöpumpun käyttöönoton mahdollisuuksia tulisi kuitenkin selvittää tarkemmin kuin tämän työn laajuudessa oli mahdollista. Vesistöasennus vaatii hyväksynnän vesistön haltijalta, kaupungilta ja aluehallintovirastolta. Vesistölämpöpumpun yhdistäminen nykyiseen kaukolämpöratkaisuun vaatii myös yhteistyötä Jyväskylän Energian kanssa.

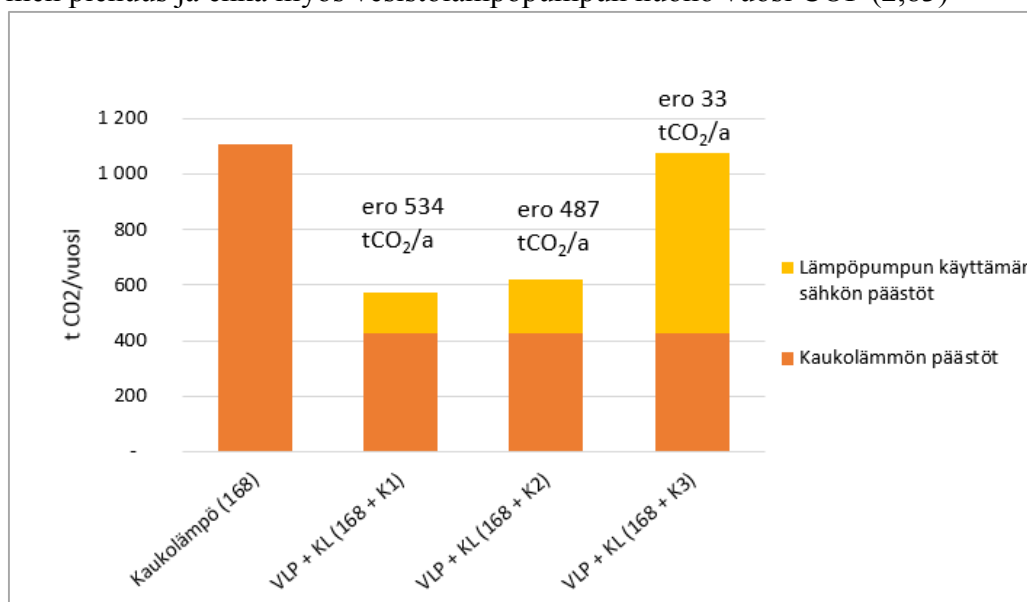
#### 6.4.4 CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentymän tarkastelu

Päästötarkastelussa on käytetty uusimpia tiedossa olevia, eli vuoden 2016, päästökertoimia. Sähkön hankkii vuokralaisen, eli Jyväskylän yliopiston, toimesta Hansel. Hanselin vuoden 2016 päästökerroin hankkimalleen sähkölle oli 138, 2 tCO<sub>2</sub>/MWh (K1). Jyväskylän Energian toimittaman kaukolämmön päästökerroin vuonna 2016 oli 168 tCO<sub>2</sub>/MWh. Vesistölämpöpumppu säästää 534 tCO<sub>2</sub> hiilidioksidipäästöjä vuodessa nykyiseen kaukolämpö rat-



kaisuun verrattuna, edellä mainituilla lämmön- ja sähkönmyyjän kertoimilla laskettuna. Prosentuaalisesti vesistölämpöpumpulla tuotettavan energian päästöt (574 tCO<sub>2</sub>/a) ovat 52 % kaukolämmön päästöistä (1 108 tCO<sub>2</sub>/a). Investoinnin ja päästövähennemän tunnusluvuksi saadaan 700 000 euron investoinnilla ja 534 tCO<sub>2</sub> hiilidioksidipäästöjen vähentämisellä 1,31 €/kgCO<sub>2</sub>.

Selvityksen yhteydessä toteutettiin myös päästökertoimien herkkyystarkastelu, jossa tutkittiin, mikä vaikutus kokonaispäästöihin on, kun sähkön päästökerrointa muutetaan. Kuvassa 57 on esitetty vesistölämpöpumppu- ja kaukolämpöratkaisujen hiilidioksidipäästöt vuodessa, kun lämmön päästökerroin on vakio 168 tCO<sub>2</sub>/MWh ja sähkön päästökerrointa muutetaan sähkönmyyjän K1( 138,2 tCO<sub>2</sub>/MWh), Suomen keskimääräisen K2(181 tCO<sub>2</sub>/MWh) ja marginaaliperustaisen K3 (400 tCO<sub>2</sub>/MWh) kertoimien välillä. Kuvasta huomataan, että vesistölämpöpumpulla toteutuvat päästövähennemät ovat merkittävät, kun käytetään sähkölle kertoimia K1 tai K2, mutta käyttämällä marginaaliperustaista kerrointa, vesistölämpöpumpun hiilidioksidipäästöt ovat jo hyvin lähellä pelkällä nykyisellä kaukolämmöllä tuotettuja hiilidioksidipäästöjä. Tähän merkittävimmät syyt ovat kaukolämmön nykyisen päästökertoimen pienuus ja ehkä myös vesistölämpöpumpun huono vuosi COP (2,83)



Kuva 57. Ylistönrinne vesistölämpöpumppuratkaisun päästövertailu sähkön päästökertoimilla K1, K2 ja K3

## 7 Tulosten käsittely

SYK toimii vastuullisesti ja kestävä kehityksen mukaisesti. Laajassa kiinteistökannassa rakennuksissa käytetyn energian hiilijalanjälki ja sen pienentäminen nousevat ekologisesta näkökulmasta tarkasteltuna merkittäviksi tekijöiksi. Asiakkaat ovat entistä kiinnostuneempia vuokranantajan vastuullisesta toiminnasta, minkä vuoksi SYK pitää uusiutuvan energian hyödyntämistä myös vetovoimatekijänä. Asiakkaiden ohella liiketoiminnan vastuullisuus kiinnostaa enenevässä määrin muitakin kiinteistönomistajan sidosryhmiä, esimerkiksi omistajia ja rahoittajia. Niin ikään uusiutuvien energiatekniikoiden avulla saavutettavat taloudelliset säästöt ja energian hinnan nousun riskin madaltaminen ovat SYK:n näkökulmasta tärkeitä asioita.

Kampuspotentiaalin yhteydessä tuotettuja matriiseja sekä energiaselvitysten perusteella saatuja investoinnin ja hiilidioksidipäästövähennemän tuloksia voidaan käyttää johdon päätök-

senteon tukena. Tässä luvussa kootaan yhteen tulokset kampuspotentiaaliin liittyvistä selvityksistä sekä energiaselvityksistä. Tuloksia tarkastellaan diplomityön alussa määriteltujen tutkimuskysymysten näkökulmasta.

## **7.1 Uusiutuvan energian hyödynnettävyys SYK kampuksilla**

Työn yhtenä päätavoitteena oli tutkia millä valitulla uusiutuvan energian tekniikalla on suurin vaikuttavuus CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseen SYK:n kampuksilla.

SYK:n aurinkosähköpotentiaali on melko suuri, johtuen esimerkiksi yliopistorakennusten suurista tasaisista kattopinta-aloista ja suuresta sähkönkulutuksesta myös kesäaikaan. Maalämpöpotentiaali on hyvä useimmilla kampuksilla, minkä lisäksi vesistölämpöä on saatavissa kolmella kampuksella.

Sähkön- ja lämmönmyyjien päästökertoimien valossa voidaan todeta, että lämmityksen energiankulutuksen hiilidioksidipäästöissä on enemmän säästömahdollisuuksia kuin sähköenergian kulutuksen hiilidioksidipäästöissä. SYK:n lämmitysenergian päästökertoimien keskiarvo on 183 kCO<sub>2</sub>/MWh ja sähköenergian päästökertoimien keskiarvo on 138 kCO<sub>2</sub>/MWh.

Lämmitysenergiaa ja sähköenergiaa korvaavia uusiutuvan energian keinoja ei voida yksiselitteisesti verrata, minkä vuoksi on mahdotonta sanoa, kummalla näistä on suuremmat vaikutukset päästöjen vähentämiseen. Energiaselvitysten perusteella yksittäisessä rakennuksessa lämpöpumppuratkaisuilla on selvästi suurempi vaikuttavuus päästöihin: maasta tai vedestä saatavan ilmaisenergian osuus vaihtelee välillä 30–39 %, kun taas aurinkosähköjärjestelmillä rakennuksen sähkönkulutusta on mahdollista vähentää 5–20 % verran (riippuen salitusta ylituotannosta). Tämän ohella tulee huomioida, että sähkön päästökerroin SYK:n kampuksilla on huomattavasti pienempi kuin lämmityksen päästökerroin. Näin ollen voidaan sanoa, että maalämpö- ja vesistölämpöpumppuratkaisuilla on suurempi vaikuttavuus päästöjen vähentämiseen.

Aurinkosähköjärjestelmiä on kuitenkin mahdollista lisätä kiinteistökantaan huomattavasti nopeammalla syklillä kuin lämpöpumppujärjestelmiä, joiden kohdalla täytyy ottaa huomioon useampia tekijöitä. Kiinteistökohtaisilla aurinkosähköjärjestelmillä ei ole negatiivisia vaikutuksia ympäröivään energiaselvitelmään, kun kaikki tuotettu sähkö käytetään kohteessa. Aurinkosähköjärjestelmällä ei myöskään koskaan kiinteistökohtaisissa asennuksissa korvata niin sanotusti vanhaa järjestelmää, vaan se tuodaan sen rinnalle. Tästä näkökulmasta tarkasteltuna aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottoa voi verrata energiansäästötoimenpiteeseen. Aurinkosähkön potentiaalin kartoittaminen on myös verraten nopeaa, sillä lähes kaikki data on julkisesti saatavilla ilmakuvien ja säteilytietojen muodossa.

Lämpöpumppujen (sekä vettä että maaenergiaa hyödyntävien) käyttöönotossa täytyy huomioda huomattavasti enemmän maantieteellisiä ja geologisia tekijöitä. Kansantaloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna kaukolämmön korvaaminen lämpöpumpulla jo olemassa olevassa rakennuksessa on joskus hankalasti perusteltavissa, etenkin jos kaukolämpö on tuotettu ekologisesti kestävästi. Suurilla lämpöpumppuratkaisuilla, joilla korvataan kaukolämpöä, on vaikutuksia ympäröivään energiaselvitelmään, myös siten, että se huonontaa CHP-laitosten hyötysuhdetta.

Mikäli kaikki A-potentiaalin aurinkosähköjärjestelmät toteutettaisiin, SYK:n kampuksilla tuotetun uusiutuvan sähköenergian osuus nousisi nykyisestä 0,2 %:sta jopa 5,6 %:iin vuoden

2016 kokonaissähkönkulutukseen verrattuna. Vastaavaa lukua ei voitu tuottaa maalämpöpumpun tai vesistölämpöpumpun osalta tämän työn laajuudessa, koska lämpöpumpuilla tuotetun energian laskemiseen vaaditaan tarkempia energiaselvityksiä.

## **7.2 Investoitavien eurojen ja säästettyjen CO<sub>2</sub>-päästöjen suhde**

Työn toisena päätavoitteena oli tutkia, millä uusiutuva energian toimenpiteillä saadaan suurin päästövähennysvaikutus suhteessa taloudellisiin investointeihin €/kgCO<sub>2</sub>. Kysymykseen haettiin vastausta energiaselvityksillä, jotka tuotettiin kolmelle eri kampukselle. Uusiutuvan energian tekniikat eivät olleet potentiaalisimpia vaihtoehtoja yhdelle ja samalla kampuksella muun muassa alueellisten tavoitteiden ja geologisten ominaisuuksiensa takia.

Uusiutuvan energian tekniikoiden ja niiden päästöjen vähentämiseen liittyvän potentiaalin vertailua vaikeuttaa energiaselvitysten kohteena olleiden kiinteistöjen erilaisuus. Maalämpöselvitys tehtiin uudisrakennukselle, vesistölämpöselvitys 1990-luvulla rakentuneelle laitusrakennuskokonaisuudelle ja aurinkosähköselvitys kahdelle 2000-luvun rakennukselle. Suhdeluvusta käy kuitenkin hyvin selväksi se laajalti tunnettu tosiasia, että lämpöpumppujen investointien kannattavuus on selkeästi houkuttelevampi kuin aurinkosähköjärjestelmien, sekä se, että yksittäiset investoinnit ovat näiden ensiksi mainittujen kohdalla kokoluokaltaan suurempia.

Investoinnin ja päästövähennemän suhteeksi saatiin seuraavat tunnusluvut:

- Maalämpöselvitys: 1,36 €/kgCO<sub>2</sub>, investoinnin suuruus 483 000 € ja päästövähennelmä 355 tCO<sub>2</sub>
- Vesistölämpöselvitys 1,31 €/kgCO<sub>2</sub>, investoinnin suuruus 700 000 € ja päästövähennelmä 534 tCO<sub>2</sub>
- Aurinkosähköselvitys 10,6–13,9 €/kgCO<sub>2</sub>, investoinnin suuruus 157 000–263 000 € ja päästövähennelmä 4–32 tCO<sub>2</sub>

Yllä esitetyissä investoinneissa ei ole huomioitu uusiutuvan energian lisäämiseen myönnettäviä tukia. Energiatehokkuussopimuksiin liittyneiden yritysten lämpöpumppuinvestointeille on mahdollista hakea 15 % investointitukea ja aurinkosähköinvestointeille vastaavasti 25 %.

Investoinnin avulla säästettyjen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaan on käytetty sähkön- ja lämmönmyyjien ilmoittamia päästökertoimia. Sähkön päästökerroin on selvästi matalampi kun selvityksissä olevien kohteiden kaukolämmön päästökerroin, joka osaltaan vaikuttaa tunnuslukujen välisen eron suuruuteen. Energiaselvityksissä myös tehtiin herkkyystarkastelua käytettyjen päästökertoimien suhteen. Maalämpöselvityksen osalta saatiin tulokseksi, että sähkön päästökertoimen muuttaminen K1, K2 ja K3 kertoimien välillä pienensi investoinnilla saavutettavaa päästövähennemää, vaikkakaan ei merkittävästi. Tämä johtui osittain siitä, että lämpöpumpun käyttämä sähköenergia oli selvityksessä huomattavasti pienempi kuin kaukolämmöllä tuotettu energia, joten kaukolämmön päästökerroin dominoi tuloksia. Vesistölämpöselvityksessä sen sijaan lämpöpumpun käyttämän sähköenergian osuus oli huomattavasti suurempi, minkä lisäksi sähkön marginaaliperustasta kerrointa K3 käyttämällä vesistölämpöpumpun päästöjä vähentävä vaikutus lähdes katosi. Kun maalämpöselvityksen päästöissä käytettiin SYK:n alhaisinta kaukolämmön päästökerrointa, nousi maalämmön päästöjen tunnusluku (7,8 €/kgCO<sub>2</sub>) lähelle aurinkosähköjärjestelmän tunnuslukua.

Tässä työssä esiteltyjä investointien ja CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentymisen välistä suhdetta ei voi yleistää koskemaan kaikkia SYK:n kampuksia tai muiden toimijoiden kiinteistöjä, koska alueellisten erojen lisäksi rakennusten käyttö eroaa aina hieman toisistaan. Tuloksia voidaan

kuitenkin käyttää suuntaa antavasti ja todeta, että lämpöpumppuinvestoinneilla on suurempi potentiaali tehdä päästövähennyksiä kuin aurinkosähköjärjestelmillä. Tämä voidaan nähdä myös tutkimalla investointien takaisinmaksuaikoja, jotka ovat lämpöpumppuselvityksissä alle 10 vuotta ja aurinkosähköselvityksissä lähempänä 15 vuotta.

## 8 Yhteenveto ja johtopäätökset

### 8.1 Yhteenveto tuloksista

Uusiutuvan energian potentiaalin määrittäminen näin suurelle kiinteistömassalle on haastavaa ilman yleistyksiä. Aurinkosähköpotentiaalin selvittämiseen tietyllä tarkkuudella löytyy jo netistä ohjelmia ja laskureita, joiden avulla mahdolliset päästövaikutuksetkin voidaan arvioida. Maalämpö- ja vesistölämpöpotentiaalin selvittäminen vaatii aina tarkempia energiaselvityksiä, joita tässäkin diplomityössä muutamalle kohteelle tehtiin. Suuren kiinteistömassan todellisen potentiaalin selvittäminen MWh-tasolla vaatii aikaa ja tarkkojen lähtötietojen selvittämistä, joka ei diplomityön rajoissa ole mahdollista.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tuottaa alustavia arvioita siitä, millaisiin kohteisiin tarkempaa tutkimusta kannattaa tulevaisuudessa suunnata. Työssä onnistuttiin tunnistamaan isosta kiinteistökannasta kohteet, joissa uusiutuva energiaa voidaan tuottaa hiilidioksidipäästöjä vähentäen ja investointien taloudellinen kannattavuus huomioiden.

SYK kampuksilla sekä aurinkosähköjärjestelmien että maalämmön potentiaali kampuksilla arvioitiin hyväksi. Lämpöpumppujärjestelmien investoitavien eurojen ja päästövähennemän suhde (€/kgCO<sub>2</sub>) oli kuitenkin selvästi parempi kuin aurinkosähköjärjestelmillä. Laajempi yhteistyö paikallisten kaukolämpöyhtiöiden kanssa hyödyttää sekä kiinteistönomistajaa että energiayhtiötä, joka pyrkii strategiansa toteuttamiseen. Lisäksi uudet energiapalvelualan liiketoimintamallit, joissa investoinnin rahoittaa ulkopuolinen, ovat kiinnostava tapa lisätä uusiutuvan energian osuutta nopeasti. Investoinnin riskin siirtyessä pois kiinteistönomistajalle ulkopuoliselle rahoittajalle, on kiinteistönomistajan mahdollista tehdä useampia uusiutuvan energian toteutuksia samanaikaisesti.

Poraustekniikan kustannustehokkuuden kehittymisen myötä myös isompien olemassa olevien kiinteistöjen maalämpöratkaisut luultavasti halpenevat. Syväporaustekniikalla voidaan luultavasti vastata haasteisiin, joita tontin pieni koko saattaa tuottaa erityisesti kaupunkialueilla. Syväporauksella geoenergiakentän koko pienenee, kun geoenergiakaivoja voidaan porata vähemmän.

### 8.2 Tulosten yleistettävyyden ja tulevaisuuden näkymät

Kolmantena tutkimuskysymyksenä oli selvittää, miten hyvin tässä diplomityössä saadut tulokset ovat yleistettävissä muille kiinteistöomistajille. Kampuspotentiaalin tulokset ovat varsin hyvin yleistettävissä muillekin kiinteistön omistajille geoenergiapotentiaalin, kaukolämmön päästökertoimen ja kaukolämmön hinnan sekä alueellisten tavoitteiden osalta. Vastaavanlaisia kartoituksia voidaan toteuttaa muillekin isojen kiinteistömassojen omistajille, joiden kiinteistöt sijaitsevat maantieteellisesti eri alueilla.

Spesifiin paikkatietoon (koordinaatteihin) perustuvaa dataa, kuten maaperän kivilaji ja maanpeitepaksuus, on jo nyt julkisesti saatavilla ja erilaisen datan määrä lisääntyy tulevaisuudessa. Tämän lisäksi julkisesti on löydettävissä alueellisesti määriteltä dataa kuten kaukolämmön päästökerron ja hinta sekä ilmastotavoitteet. Tämän kaiken avoimesti saatavilla olevan datan yhdistäminen esimerkiksi koko Suomen kattavaksi uusiutuvan energian potentiaaliksi nähdään hyödyllisenä. Geoenergiapotentiaalikartat, aurinkosähkölaskurit ja kaupunkien ilmastotavoitteet, paikalliset päästökertoimet sekä kaukolämmön hintatilastot yhdistämällä olisi mahdollista luotettavasti vertailla, missä päin Suomea uusiutuvan energian lisäämisellä on suurin vaikuttavuus ja taloudellinen kannattavuus. Näin saatavilla olevasta tiedosta voisivat kiinteistöomistajien ja kuntien lisäksi hyötyä myös paikalliset energiayhtiöt, jotka voisivat käyttää tietoa kilpailualustanaan.

## Lähdeluettelo

AALTO GREEN CAMPUS. 2017. Kampus muutoksessa: Ekokampus 2030. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.10.2017]. Saatavissa: <https://aaltogreencampus.fi/kampus-muutoksessa#ekokampus>

ADVEN OY. 2017. Advenin uusiutuvan energian sopimus tarjoaa sinulle konkreettisia hyötyjä. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.10.2017]. Saatavissa: <http://www.adven.fi/fi/kiinteistot/flexible-contract/>

AKADEMISKA HUS. 2017. Sustainability objectives in brief. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.10.2017] Saatavissa: <https://www.akademiskahus.se/en/sustainability/sustainability-objectives/>

AUVINEN, K., LOVIO, R., JALAS, M., JUNTUNEN, J., LIUKSIALA, H., NISILÄ, H., MÜLLER, J., 2016. Finsolar: Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.8.2017]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-6767-4>. ISBN 978-952-60-6767-4

BENVIROC OY. 2017. Oulun kasvihuonekaasupäästöt 2010–2015, ennakkotieto vuodelta 2016. [Verkkoraportti]. [Viitattu 27.10.2017] Saatavissa: [https://www.ouka.fi/documents/64417/168871/CO2-raportti\\_Oulu\\_28032017.pdf/683b5bd3-35fa-4284-968a-c80e2f133d07](https://www.ouka.fi/documents/64417/168871/CO2-raportti_Oulu_28032017.pdf/683b5bd3-35fa-4284-968a-c80e2f133d07)

BREILIN, O., HUUSKO A., MARTINKAUPPI, A., PUTKINEN, & WIK, H. 2013 Oulun geoenergiapotentiaali. [Tutkimusraportti]. Geologian tutkimuskeskus. [Viitattu 20.4.2017]. Saatavissa: [http://www.gtk.fi/export/sites/fi/asiantuntijapalvelut/energia/geoenergia/liitteet/Oulun\\_geoenergiapotentiaalin\\_kartoitus\\_GTK2013.pdf](http://www.gtk.fi/export/sites/fi/asiantuntijapalvelut/energia/geoenergia/liitteet/Oulun_geoenergiapotentiaalin_kartoitus_GTK2013.pdf)

CITYCON. 2016. Vuosikertomus 2016: Vastuullisuusselvitys. [Verkkoraportti]. [Viitattu 30.10.2017] Saatavissa: [https://www.citycon.com/sites/default/files/citycon\\_vastuullisuusselvitys\\_fi.pdf](https://www.citycon.com/sites/default/files/citycon_vastuullisuusselvitys_fi.pdf)

COVENANT OF MAYORS FOR CLIMATE & ENERGY. 2016. Kaupunginjohtajien Energia- ja ilmastopöytäkirja. [Verkkoraportti]. [Viitattu 27.10.2017] Saatavissa: [https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/CoM\\_CommitmentDocument\\_fi.pdf](https://www.covenantofmayors.eu/IMG/pdf/CoM_CommitmentDocument_fi.pdf)

EDUSKUNTA. 2016. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energiatekniikan kehittämisestä vuoteen 2030. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.8.2017]. Saatavissa: [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/VNS\\_7+2016.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/VNS_7+2016.pdf)

EERIKÄINEN, H. and SARASOJA, A., 2013. Marketing green buildings-wellstructured process or forgotten minor detail? Evidence from Finland. Property Management, 31(3), pp. 233–245. [Online] DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/02637471311321478>

ENERGIAUUTISET. 2017. Sähköä yliopiston verkkoon. [Verkkouutinen]. [Viitattu 20.8.2017]. Saatavissa: <http://www.energiauutiset.fi/uutiset/sahkoa-yliopiston-verkkoon.html>

ETS. 2017. Energiategohokkuussopimukset 2017–2025, ohjeita liittyjälle. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.7.2017] Saatavissa: <http://www.energiategohokkuussopimukset2017-2025.fi/liittyjalle/>

ENERGIAKOKEILUT. 2017. Wasa Station. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.11.2017]. Saatavissa: <http://energiakokeilut.fi/node/25>

ENERGIATEOLLISUUS. 2017. Energiateollisuuden viestit puhtaan energian pakettiin, Uusiutuvan energian direktiivi. [Esitys]. [Viitattu 2.8.2017]. Saatavissa: [https://energia.fi/fi-les/1483/PO\\_ET\\_EU-paiva\\_2017\\_netti.pdf](https://energia.fi/fi-les/1483/PO_ET_EU-paiva_2017_netti.pdf)

ENERGIATEOLLISUUS. 2017a. Energiavuosi 2016. [Esitys]. [Viitattu 25.9.2017]. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/tilastot/kaukolampotilastot)

ENERGIATEOLLISUUS. 2017b. Kaukolämmön hintatilasto: Kaukolämmön hinnat 1.7.2017. [Tilasto]. [Viitattu 25.9.2017]. Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon\\_hintatilasto.html#material-view](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html#material-view)

ENERGYSAGE. 2017. What are the most efficient solar panels on the market? [Verkkosivu]. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <http://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>

ERA. 2017. ERA17-toimintaohjelman infografiikat.[Verkkosivu]. [Viitattu 22.10.2017]. Saatavissa: [http://era17.fi/wp-content/uploads/2017/10/ERA17\\_infografiikat\\_10-2017.pdf](http://era17.fi/wp-content/uploads/2017/10/ERA17_infografiikat_10-2017.pdf)

ESPOO. 2016. Espoon ilmasto-ohjelma 2016–2020. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.10.2017]. Saatavissa: [http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen\\_ja\\_ymparisto/Kestava\\_kehitys/Ilmastotavoitteet](http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Kestava_kehitys/Ilmastotavoitteet)

FINSOLAR. 2015. Finsolar kutsui rahoittajat keskustelemaan aurinkoenergiasta. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.9.2017]. Saatavissa: <http://www.finsolar.net/finsolar-kutsui-rahoittajat-keskustelemaan-aurinkoenergiasta/>

FINSOLAR. 2016a. Kiinteistörajat aurinkosähkön siirtämisessä. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.7.2017]. Saatavissa: [http://www.finsolar.net/?page\\_id=2951](http://www.finsolar.net/?page_id=2951)

FINSOLAR. 2016b. Kannattavuuslaskurit. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.7.2017]. Saatavissa: [http://www.finsolar.net/?page\\_id=2571](http://www.finsolar.net/?page_id=2571)

FINSOLAR. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.7.2017]. Saatavissa: [http://www.finsolar.net/?page\\_id=1363](http://www.finsolar.net/?page_id=1363)

FISU. 2017. Fisunetverkon internetsivut. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.10.2017]. Saatavissa: [http://www.fisunetwork.fi/fi-FI/Tietoa\\_Fisusta](http://www.fisunetwork.fi/fi-FI/Tietoa_Fisusta)

GEOPIPE. 2017. SuviLahti matalalämpö verkko. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.10.2017] Saatavissa: <https://www.geopipe.fi/fi-FI/referenssit-37557294>

GRANLUND OY. 2017. Fortumin konesaliyhteistyö malliesimerkki hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksista. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.10.2017] Saatavissa: <http://www.granlund.fi/ajankohtaista/fortumin-konesaliyhteistyö-malliesimerkki-hukkalämmön-hyödyntämismahdollisuuksista/>

- GTK. 2017. Geoenergia. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.9.2017]. Saatavissa: <http://www.gtk.fi/asiantuntijapalvelut/energia/geoenergia/index.html>
- HEIKKONEN, H. 2017. Lämpöä hankkeessa pureudutaan maahan. Talotekniikka. Vol. 6/2017. S. 26–29. ISSN 1236-5173 (painettu).
- HEIKKONEN, H. 2017a. Espoonlahteen rakennetaan energiapihi kauppakeskus. Talotekniikka. Vol. 6/2017. S. 30–32. ISSN 1236-5173 (painettu).
- HEL. 2017. Selvitys Helsingin uusista ilmastotavoitteista. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.8.2017]. Saatavissa: <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-04-17.pdf>
- HELEN OY. 2017. Uusiutuva kaukolämpö.[Verkkosivu]. [Viitattu 2.10.2017]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/lampo/kodit/uusiutuva-kaukolampo/>
- HUUSKO, A., LAHTINEN, H., MARTINKAUPPI, A., PUTKINEN, N., PUTKINEN, S. & WIK, H. 2015. Keski-Suomen geoenergiapotentiaali. [Tutkimusraportti]. Geologian tutkimuskeskus. [Viitattu 20.8.2017]. Saatavissa: [https://www.keskisuomi.fi/filebank/24387-Keski-Suomen\\_geoenergiapotentiaali\\_4162018\\_loppuraportti.pdf](https://www.keskisuomi.fi/filebank/24387-Keski-Suomen_geoenergiapotentiaali_4162018_loppuraportti.pdf)
- IEA PVPS. 2016. Snapshot of Global Photovoltaic Markets 2015. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: [http://www.ieapvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS\\_-\\_A\\_Snapshot\\_of\\_Global\\_PV\\_-\\_1992-2015\\_-\\_Final\\_2\\_02.pdf](http://www.ieapvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2015_-_Final_2_02.pdf)
- IRIS. 2017. Integrated and Replicable Solutions for Co-Creation in Sustainable Cities. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: <http://irissmartcities.eu/irissmartcities/content/overview>
- JAATINEN, K. 2017 Finsolar: Kestääkö katto aurinkovoimalan? [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 25.10.2017]. Saatavissa: <http://www.finsolar.net/kestaako-katto-aurinkovoimalan/>
- JOENSUUN KAUPUNKI. 2014. Ilmasto-ohjelma. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.11.2017]. Saatavissa: <http://www.joensuu.fi/ilmasto-ohjelma>
- JUVONEN, J. & LAPINLAMPI, T. 2013. Energiakaivo, maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. [verkkodokumentti]. Ympäristöopas 2013. Edita Prima Oy, Helsinki 2013. ISSN 1796-167X (verkkojulkaisu). [Viitattu 19.8.2017]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf)
- JYVÄSKYLÄN KAUPUNKI. 2017. Sitoumukset, strategiat ja ohjelmat: Resurssiviisuus Jyväskylässä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.10.2017]. Saatavissa: <http://www.jyvaskyla.fi/resurssiviisuus/kiinnekohdat>
- JYVÄSKYLÄN ENERGIA. 2016. Jyväskylän Energia selvittää Hippoksen alueen energiataseen. [Verkkouutinen]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavissa: [http://www.jyvaskylanenergia.fi/mediatiedote/1943/jyvaskylan\\_energia\\_selvittaa\\_hippoksen\\_alueen\\_energiataseen](http://www.jyvaskylanenergia.fi/mediatiedote/1943/jyvaskylan_energia_selvittaa_hippoksen_alueen_energiataseen)
- JYVÄSKYLÄN ENERGIA. 2017. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.10.2017]. Saatavissa: <http://www.jyvaskylanenergia.fi/>



KALEVA, H., NIEMI, J., LAHTINEN, R., KUMPULA, S., LOHILAHTI, H. 2013. Vastuullisuus kiinteistöliiketoiminnassa. [Verkkajulkaisu] KTI Kiinteistötieto Oy. [Viitattu 27.9.2017]. Saatavissa: [http://www.rakli.fi/media/tietoa-kiinteistoalasta/faktaa-alasta/vastuullisuus\\_kiinteistoliiketoiminnassa.pdf](http://www.rakli.fi/media/tietoa-kiinteistoalasta/faktaa-alasta/vastuullisuus_kiinteistoliiketoiminnassa.pdf) ISBN 978-952-9833-45-0

KEVA. 2016. Kevan suorien kiinteistösijoitusten ympäristöstrategia ja ympäristötavoitteet. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.10.2017]. Saatavissa: [https://www.keva.fi/globalassets/2-tiedostot/tama-on-keva--tiedostot/sijoitukset-talous-ja-raportointi/keva\\_kiinteistosijoitusten\\_ymparistostategia\\_2016.pdf](https://www.keva.fi/globalassets/2-tiedostot/tama-on-keva--tiedostot/sijoitukset-talous-ja-raportointi/keva_kiinteistosijoitusten_ymparistostategia_2016.pdf)

KIANTA, J. 2017. Luonnonvedet hyötykäyttöön. Talotekniikka. Vol 6/2016. S. 58–61. Saatavissa: <https://talotekniikka-lehti.fi/luonnonvedet-hyotykayttoon-rakennusten-jaahdytyksessa-lammityksessa/>

KIINTEISTÖTIETO Oy, 2010. Kiinteistöliiketoiminnan arvoverkostot, ansaintalogiikat ja päätöksentekoprosessit – kestävän kehityksen ratkaisujen käyttöönoton haasteet ja esteet [verkkajulkaisu]. Tekes. [Viitattu 8.8.2017]. Saatavissa: [http://era17.fi/wp-content/uploads/2016/12/KTI\\_Tekes\\_Arverkostoselvitys\\_2010.pdf](http://era17.fi/wp-content/uploads/2016/12/KTI_Tekes_Arverkostoselvitys_2010.pdf)

KIINTEISTÖTIETO Oy. 2017. Vastuullinen kiinteistöliiketoiminta 2017. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 20.8.2017]. Saatavissa: [https://kti.fi/wp-content/uploads/KTI\\_vastuullisuuskatsaus\\_2017.pdf](https://kti.fi/wp-content/uploads/KTI_vastuullisuuskatsaus_2017.pdf)

KUOPION ENERGIA. 2017. Energiantuotanto. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: <https://www.kuopionenergia.fi/yritys/tuotanto/>

KUOPION KAUPUNKI. 2017. Ilmastopoliittinen ohjelma. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: <https://www.kuopio.fi/ilmastopoliittinen-ohjelma>

LAITIO, M. 2017. Maankäyttö- ja rakennuslain muutokset 1.5.2017. [Esitys]. ELY-keskuksen neuvottelupäivä. Varkaus. [Viitattu 25.10.2017]. Saatavissa: [https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/21124509/Laitio\\_Varkaus30052017/82a99198-6e9a-400b-8a7a-a8d6e4fb031c](https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/21124509/Laitio_Varkaus30052017/82a99198-6e9a-400b-8a7a-a8d6e4fb031c)

LAPPEENRANNAN ENERGIA. 2017. Vuosikertomus 2016: Ympäristövastuu. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.11.2017]. Saatavissa: <https://www.lappeenrannanenergia.fi/konserni/vuosikertomukset/vuosikertomus2016/ymp%C3%A4rist%C3%B6vastuu-2016/Sivut/ymp%C3%A4rist%C3%B6vastuu.aspx>

LAPPEENRANNAN KAUPUNKI. 2015. Hiilineutraali Lappeenranta. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: <http://www.lappeenranta.fi/fi/Palvelut/Ymparisto/Vihrea-Lappeenranta/Hiilineutraali-Lappeenranta>

LAUTTAMÄKI, V. & KALLIO, J. 2013. Geoenergiasta liiketoimintaa, perusteluja geoenergian hyödyntämiselle erilaisissa rakennuskohteissa. [Tutkimusraportti]. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 206. [Viitattu 4.9.2017] Saatavissa: <http://www.gtk.fi/tietopalvelut/julkaisut/julkaisut/uusimmat/tiivistelma/TR206.html>. ISBN 978-952-217-268-6 (sähköinen).

LEHTONEN, JM. 2004. Tuotantotalous. Porvoo: WS Bookwell Oy. ISBN 951-0-28104-2.

LEPPÄHARJU, N., HAKALA, P., HUUSKO, A. 2016. Geoenergiapotentiaalin selvitys Tampereen, Kangasalan ja Lempäälän alueelta. [Tilaustutkimusraportti]. Geologian tutkimuskeskus. [Viitattu 17.8.2017]. Saatavissa: [http://www.lempaala.fi/site/assets/files/19787/gtk\\_tampereen\\_kangasalan\\_ja\\_lemp\\_1\\_n\\_geoenergiapotentiaali.pdf](http://www.lempaala.fi/site/assets/files/19787/gtk_tampereen_kangasalan_ja_lemp_1_n_geoenergiapotentiaali.pdf)

LYYTIKÄINEN, L. 2015. Uuden asuinalueen kaksisuuntaisen kaukolämpöratkaisun asiakastarveselvitys. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [Viitattu 18.10.2017]. Saatavissa: [http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/113924/Diplomityo\\_Lotta\\_Lyytikainen.pdf?sequence=2](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/113924/Diplomityo_Lotta_Lyytikainen.pdf?sequence=2)

LÄHITAPIOLA. 2017. Vastuu ympäristöstä. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: <https://www.lahitapiola.fi/tietoa-lahitapiolasta/vastuullisuus/vastuu-ymparistosta/kiinteistotoiminta>

MARTINKAUPPI, A. & HAKALA, P. Tuloksia geofysikaalisista paikkatutkimuksista Oulun herukan Salen tutkimuskohteessa. [Tutkimusraportti]. Geologian tutkimuskeskus. [Viitattu 4.9.2017] Saatavissa: <http://www.pipelife.fi/media/fi/tutkimustulokset/1162057---GTK-27082013.pdf>

MERTENS, K., 2013. Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice. [E-kirja]. John Wiley & Sons. [Viitattu 20.10.2017] ISBN 978-1-118-63416-5.

MOTIVA. 2012. Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 14.10.2017]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/8886/CO2-laskentaohje\\_Yksittainen\\_kohde.pdf](http://www.motiva.fi/files/8886/CO2-laskentaohje_Yksittainen_kohde.pdf)

MOTIVA Oy. 2017. Energiatehokkuussopimukset 2017–2025. [Verkkosivu]. [Viitattu 4.10.2017]. Saatavissa: <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/#energiatehokkuussopimukset-2017-2025>

MOTIVA Oy. 2017a. Lämpöpumpputeknologiat. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.10.2017]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu)

NAPAPIIRIN ENERGIA. 2017. Ympäristövastuu 2016. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.10.2017]. Saatavissa: <https://vk2016.neve.fi/ymparistovastuu/>

NAVIGEO OY. 2002. Aurajoen syvyyskartta. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.9.2017] Saatavissa: [http://aurajoki.net/Pdf/syvyyskartta\\_print1.pdf](http://aurajoki.net/Pdf/syvyyskartta_print1.pdf)

NIEMELÄ, T. & SEVELIUS, M. Lämpöpumppukoulutus. Granlund Consulting Oy. 20.6.2017

OULUN ENERGIA. 2017. Lämmön alkuperä. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/lammon-alkuperä>

OULUN ENERGIA. 2017a. Oulun Energia vuosikertomus 2016. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: [https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/vuosikertomus\\_2016.pdf](https://www.oulunenergia.fi/sites/default/files/attachments/vuosikertomus_2016.pdf)

OULUN KAUPUNKI. 2014. Oulun kaupungin ympäristöohjelma. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: [https://www.ouka.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=9e79f42d-ab1e-497c-b647-ab0bebccdbd5&groupId=52058](https://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=9e79f42d-ab1e-497c-b647-ab0bebccdbd5&groupId=52058)

OULUN KAUPUNKI. 2017. Ympäristötilinpäätös 2016. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: [https://www.ouka.fi/documents/173447/260934/Julkaistu\\_1\\_2017+%281%29.pdf/795f841a-6fa5-40f8-8109-7192bc17c0e1](https://www.ouka.fi/documents/173447/260934/Julkaistu_1_2017+%281%29.pdf/795f841a-6fa5-40f8-8109-7192bc17c0e1)

PAAKKANEN M., ERVASTI A. EU-maat hyväksyivät joustot hiilinieluihin Suomen tahdon vastaisesti. Helsingin Sanomat. 13.10.2017. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.10.2017]. Saatavissa: <https://www.hs.fi/talous/art-2000005408415.html>

PARVIAINEN J. 2015. Kuntien Ja Maakuntien Ilmastotyön Tilanne 2015-Strategioista Käytäntöön. [Verkkojulkaisu]. Suomen Kuntaliitto. Helsinki. [Viitattu 7.8.2017]. Saatavissa: [http://shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/ilmastoselvitys\\_ebook.pdf](http://shop.kunnat.net/download.php?filename=uploads/ilmastoselvitys_ebook.pdf) ISBN 978-952-293-335-5.

PELTONIEMI, S. & KUKKONEN, I. 1995. Kivilajien lämmönjohtavuus Suomessa: Yhteenveto mittauksista 1964–1994. [Raportti]. Geologian tutkimuskeskus. [Viitattu 15.4.2017]. Saatavissa: [http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/q18\\_95\\_1.pdf](http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/q18_95_1.pdf)

PÖYRY. 2017. Hajautetun uusiutuvan energiatuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 5/2017. [Viitattu 28.7.2017] Saatavissa: [http://vnk.fi/documents/10616/3866814/5\\_2017\\_Hajautetun+uusiutuvan+energiatuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+n%C3%A4kym%C3%A4t+Suomessa/f7fa0126-2880-452d-954b-f52ea5f0a9a0?version=1.0](http://vnk.fi/documents/10616/3866814/5_2017_Hajautetun+uusiutuvan+energiatuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+n%C3%A4kym%C3%A4t+Suomessa/f7fa0126-2880-452d-954b-f52ea5f0a9a0?version=1.0)

RIL. 2014. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. RIL 265-2014. Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Tampere. ISBN 978-951-758-584-2.

ROTOTEC. 2017. Lämpökaivo. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.10.2017]. Saatavissa: <https://www.geodrill.fi/maalampo/lampokaivo/>

ROVANIEMEN KAUPUNKI. 2011. Rovaniemen kaupungin ilmasto-ohjelma. [Verkkosivu]. [Viitattu 20.10.2017]. Saatavissa: <https://www.rovaniemi.fi/loader.aspx?id=ae0ad7c2-cd54-4247-80f1-bf0dbacca09>

SALOKOSKI, P., 2017. Tulevaisuuden Energia 2030...2050 taustaraportti. [Verkkojulkaisu]. Tekes. Helsinki. [Viitattu 3.10.2017]. Saatavissa: [https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/tulevaisuuden-energia\\_2030\\_2050\\_332\\_2017.pdf](https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/tulevaisuuden-energia_2030_2050_332_2017.pdf)

SAVE-HANKE. 2017. Savilahdesta vähähiilinen toiminta-alue. [Verkkosivu]. [Viitattu 31.10.2017]. Saatavissa: <http://www.savilahti.com/save-hanke>

SFS-EN-14825. 2012. Air conditioners, liquid chilling packages and heatpumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling – Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance. Helsinki: Suomen standardisointiliitto. 72 s.

SISÄILMAUUTISET. 2017. Komissiolta taas ehdotus rakennusten energiadirektiivin muuttamiseksi. [Verkkosivu]. [Viitattu 3.8.2017] Saatavissa: <https://www.sisailmauutiset.fi/maaraykset/komissiolta-taas-ehdotus-rakennusten-energiadirektiivin-muuttamiseksi/>

SEPPÄNEN, O. 2001. Rakennusten lämmitys. Oppikirja. 2. painos. Espoo: Suomen LVI-liitto ry. ISBN 951-98811-0-7.

SOLARWATT. 2017. Aurinkosähköpaneelivalmistajan kotisivut, tuote-esite Vision 60P paneelille. [Verkkosivu]. [Viitattu 25.10.2017]. Saatavissa: <https://www.solarwatt.com/pro/media/downloads>

ST1 LÄHIENERGIA OY. 2017. [Verkkosivu]. [Viitattu 7.10.2017]. Saatavissa: <http://st1maalampo.fi/st1-lahienergia/vaihtoehtoisin-energiamuotoihin-kannattaa-panostaa/>

SULPU ry. 2014. Suomen lämpöpumppuyhdistys. Lämpöpumpputilastot vuosi 2013. [verkkodokumentti]. [Viitattu 20.10.2017] Saatavissa: <http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumpputilastoja-SULPU.pdf>

SUNTEKNO OY. 2017. Aurinkopaneelit. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

SYK Oy. 2016a. Suomen Yliopistokiinteistöt Oy vuosi 2015. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.1.2016]. Saatavissa: [http://sykoy.fi/wp-content/uploads/syk\\_vj\\_2015\\_v5\\_140316\\_aukeamat\\_lowres.pdf](http://sykoy.fi/wp-content/uploads/syk_vj_2015_v5_140316_aukeamat_lowres.pdf)

TAKALA, A.2014. Uusiutuvan energian käyttömahdollisuudet Liikuntakeskus Pajulahdessa. [Verkkodokumentti]. Diplomityö ed. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [Viitattu 12.10.2017]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014071432460>

TAMPEREEN KAUPUNKI. 2017. Ympäristöpolitiikka ja ilmastotavoitteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.10.2017]. Saatavissa: <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/ymparisto-ja-luonto/kestava-kehitys/ymparistopolitiikka-ja-ilmastotavoitteet.html>

TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS. 2017a. Energiäkäänne tulevaisuuteen. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.10.2017]. Saatavissa: <https://www.sahkolaitos.fi/footer-sivut/vastuullisuus/vastuumme-ymparistosta/>

TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS. 2017b. Tilinpäätös 2016 tiivistelmä. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.10.2017]. Saatavissa: <https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkolaitos/vuosiraportit-ja-tilinpaatokset/tilinpaatos-2016-tiivistelma.pdf>

TaVM. 2017 Valiokunnan mietintö TaVm 8/2017: Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.8.2017]. Saatavissa: [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/TaVM\\_8+2017.aspx](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/TaVM_8+2017.aspx)

TECHNOPOLIS. 2016. Vastuullisuusraportti 2016. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 1.11.2017]. Saatavissa: [https://www.technopolis.fi/app/uploads/2017/03/Vastuullisuusraportti\\_2016.pdf](https://www.technopolis.fi/app/uploads/2017/03/Vastuullisuusraportti_2016.pdf)

TEM. 2014. Energia ja ilmasto 31/2014, Energia- ja ilmastotiekartta 2050. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 7.8.2017]. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2628105/Energia-+ja+il-mastotiekartta+2050.pdf/1584025f-c5c7-456c-a912-aba0ee3e5052>. ISBN 978-952-227-882-1

TEKES. 2017. Energiatuki Pk-yrityksille. [Verkkosivu]. [Viitattu 26.7.2017]. Saatavissa: <https://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/energiatuki/>

THERMIA. 2016. Stora värmepumpsboken. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.10.2017]. Saatavissa: <http://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kirja/>

TILASTOKESKUS. 2016. Kasvihuonekaasut. [Verkkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. Helsinki: Tilastokeskus. [Viitattu 14.10.2017]. Saatavissa: [http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki\\_2016\\_2017-05-24\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki_2016_2017-05-24_tie_001_fi.html)

TILASTOKESKUS. 2017. Energian hankinta ja kulutus [Verkkojulkaisu]. ISSN=1799-795X. 2. Vuosineljännes 2017. Helsinki: Tilastokeskus. [Viitattu: 21.11.2017]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ehk/2017/02/ehk\\_2017\\_02\\_2017-09-20\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ehk/2017/02/ehk_2017_02_2017-09-20_tie_001_fi.html)

TILASTOKESKUS. 2017b. Polttoaineluokitus 2017. [Verkkosivu]. [Viitattu 14.10.2017]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html)

TURKU ENERGIA. 2017. Ympäristöohjelma [Verkkosivu]. [Viitattu 30.10.2017]. Saatavissa: <https://www.turkuenergia.fi/turku-energia/vastuullista-energiaa/ymparistoohjelma/>

TURKU ENERGIA. 2017a. Kaukolämmön alkuperä ja ympäristövaikutukset. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.10.2017]. Saatavissa: <https://www.turkuenergia.fi/kaukolampo-ja-jaahdytys/kaukolampo-kestavin-valinta/kaukolammon-alkupera-ja-ymparistovaikutukset/>

TURKU ENERGIA. 2017b. Kaukolämmön hinnoittelurakenne muuttuu. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.10.2017]. Saatavissa: <https://www.turkuenergia.fi/kaukolampo-ja-jaahdytys/kaukolampo-kestavin-valinta/uusihinnoittelurakenne/>

TURUN KAUPUNKI. 2017. Hiilineutraali Turku 2040. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.10.2017]. Saatavissa: <https://www.turku.fi/hiilineutraaliturku>

VAASAN KAUPUNKI. 2016. Vaasan kaupunki Energia ja ilmasto-ohjelma. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 28.10.2017]. Saatavissa: [https://www.vaasa.fi/sites/default/files/energia-ja\\_ilmasto-ohjelma.pdf](https://www.vaasa.fi/sites/default/files/energia-ja_ilmasto-ohjelma.pdf)

VAASAN KAUPUNKI. 2017. Vaasa on mukana suuressa EU:n rahoittamassa energia- ja kestävyyshankkeessa. [Tiedote]. [Viitattu 1.11.2017]. Saatavissa: <https://www.vaasa.fi/tiedote/vaasa-on-mukana-suuressa-eun-rahoittamassa-energia-ja-kestavyyshankkeessa>

VAASAN SÄHKÖ. 2017a. Kaukolämmön tuotanto. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.11.2017]. Saatavissa: <https://www.vaasansahko.fi/FI/Sisalto/Vuosikertomukset/Vuosikertomus%202016.pdf>

VAASAN SÄHKÖ. 2017b. Vaasan sähkö vuosikertomus 2016 [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 1.11.2017]. Saatavissa: <https://www.vaasansahko.fi/FI/Sisalto/Pages/Tuotanto.aspx>

VANTAA. 2017. Vantaan ilmastotyö. [Verkkosivu]. [Viitattu 1.11.2017]. Saatavissa: [http://www.vantaa.fi/asuminen\\_ja\\_ymparisto/ymparistopalvelut/ympariston\\_tila\\_ja\\_suo-jelu/vantaan\\_ilmastotyö](http://www.vantaa.fi/asuminen_ja_ymparisto/ymparistopalvelut/ympariston_tila_ja_suo-jelu/vantaan_ilmastotyö)

VAPO OY. 2017. Energiaratkaisut. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.7.2017]. Saatavissa: <http://www.vapo.fi/energiaratkaisut/>

VIHANNINJOKI, V. 2015. Hajautettu energiantuotanto Suomessa, Nykytila ja tulevaisuus sekä vaikutukset ilmanlaatuun. Suomen ympäristökeskus SYKE. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu: 3.7.2017]. Saatavissa: <http://www.syke.fi/download/noname/%7BDD119785-B537-45DE-AEF0-8360DCAB1BDF%7D/111845>

VIRKKI-HATAKKA, T & IKÄVALKO, M. 2013. Differences in perception: How the experts look at energy efficiency (findings from a Finnish survey). Energy Policy., vol. 60 S. 499. DOI 10.1016/j.enpol.2013.04.052.

WENNERSTRÖM, M., LEPPÄHARJU, N., SALLASMAA, O., KESKISAARI, K. & KALLIO, K. 2014. Geoenergiapotentiaalin selvitys Kotkan, Haminan, Virolahden ja Miehikkälän alueelta. [Tutkimusraportti]. Geologian tutkimuskeskus. [Viitattu 17.8.2017]. Saatavissa: [http://www.kotka.fi/instancedata/prime\\_product\\_julkaisu/kotka/embeds/kotkaw-wwstructure/23306\\_EtelaKymenlaakso\\_Geoenergiapotentiaali\\_Raportti\\_GTK\\_2014\\_12\\_17.pdf](http://www.kotka.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/kotka/embeds/kotkaw-wwstructure/23306_EtelaKymenlaakso_Geoenergiapotentiaali_Raportti_GTK_2014_12_17.pdf)

WILLS, R., MILKE, J., ROYLE, S. & STERANKA, K. 2014. Commercial Roof-Mounted Photovoltaic System Installation Best Practices Review and All Hazard Assessment. University of Maryland. Quincy, Massachusetts, U.S.A.: Fire Protection Research Foundation. [Viitattu 25.10.2017]. Saatavissa: <https://pdfs.semanticscholar.org/b90e/fa158d1a5e7803adb520ea3012f15754ec5b.pdf>

YLINEN, M. 2015. Aurinkosähkön potentiaali ja kannattavuus pien- ja toimistorakennuksissa Suomen olosuhteissa. [Verkkodokumentti]. Diplomityö. Espoo: Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulu. [Viitattu 24.10.2017]. Saatavissa: [https://aaltodoc-aalto.fi/libproxy.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/19231/master\\_Ylinen\\_Markku\\_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://aaltodoc-aalto.fi/libproxy.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/19231/master_Ylinen_Markku_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

YMPÄRISTÖ.FI. 2013. Olemassa olevien rakennusten energiatehokkuus. [Verkkosivu]. [Viitattu: 26.7.2017]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus/Olemassa\\_olevan\\_rakennuksen\\_energiatehokkuus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Olemassa_olevan_rakennuksen_energiatehokkuus)

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ. 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Annettu: 27.3.2013. [Asetus]. [Viitattu 29.7.2017]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B924394EF-BED0-42F2-9AD2-5BE3036A6EAD%7D/31396>

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ 2011. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma: Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Annettu 30.3.2011. [Viitattu 27.7.2017]. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf)

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ. 2016. Suomen rakentamismääräyskokoelma: Rakentamista koskevat asetukset uudistuvat vuoteen 2018 mennessä. [Verkkosivu].[Viitattu 4.8.2017]. Saatavissa: <http://www.ym.fi/rakentamismaaraykset>

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ. 2017. Ministeri Tiilikainen: Suomesta hiilineutraali yhteiskunta viimeistään 2045. [Verkkouutinen]. [Viitattu 27.10.2017]. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ministeri\\_Tiilikainen\\_Suomesta\\_hiilineut\(42208\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ministeri_Tiilikainen_Suomesta_hiilineut(42208))

YLE. 2017. Jyväskylä on onnistunut vähentämään päästöjä reilusti- vaikka kaupunki kasvaa 1500 asukkaalla vuodessa. [Verkkouutinen]. [Viitattu 28.10.2017]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9826585>

### **Henkilöhaastattelut:**

SAVELA, K. 2017. St1 Lähienergia Oy. Sähköpostikeskustelu. 19.10.2017

## **Liiteluettelo**

Liite 1. Aurinkosähköpotentialiaali SYK kampuksilla. 30 sivua

Liite 2. Maalämpöpotentialiaali SYK kampuksilla. 10 sivua

Liite 3. Uponorin vesistölämpöpumpputarjous. 2 sivua



## Liite 1. Aurinkosähköpotentialiaali SYK kampuksilla

# Aurinkosähkön tuottopotentialiaali SYK kampuksilla 22.5.2017

SOVELTUVUUS KAMPUKSITTAIN/KAUPUNGEITTAIN

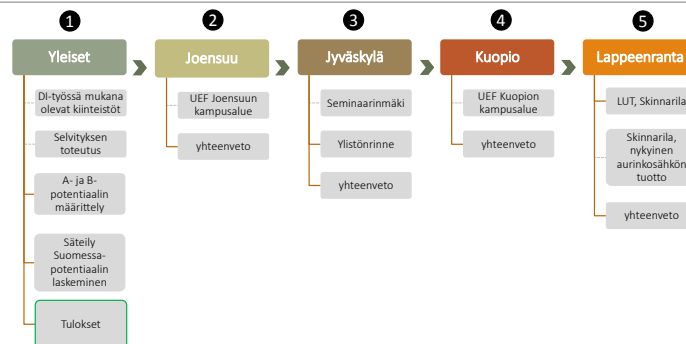
UUSIUTUVAN ENERGIAN POTENTIALIAALI SYK:N KAMPUKSILLA DI-TYÖ

EVELIINA SALERMA, GRANLUND CONSULTING

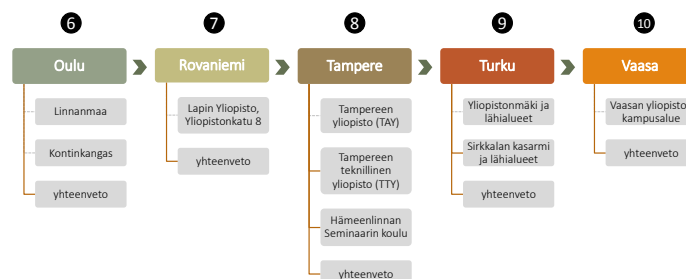
REV 26.6.2017

-Lisätty tulokset taulukkomuodossa sivulle 11  
-Lapin virheellinen sähkönkulutus korjattu

## Sisällysluettelo 1/2



## Sisällysluettelo 2/2



## DI-työssä mukana olevat kiinteistöt

KIINTEISTÖT	Syy jättää pois DI-työstä	Mitattu lämmönlukutus 2016 (MWh)	Sähkönlukutus 2016 (MWh)	bruttoala	KIINTEISTÖT	Syy jättää pois DI-työstä	Mitattu lämmönlukutus 2016 (MWh)	Sähkönlukutus 2016 (MWh)	bruttoala
<b>Lappeenranta</b>					<b>Turun yliopisto</b>				
LUT, Skinnerilla		6 703	5 400	68 880	TY, Yliopistonmäki		6 012	5 213	51 402
Kajaniemi					TY, Kasarmialue	sijaitsee kaukana kampusalueesta	1 146	2 871	42 062
Kajantien kampus	ei strategisesti merkittävää	2 322	503	17 699	TY, ROKI, Seminaarinkatu 1, Ruuska		3 410	1 198	21 235
Oulu					TY, Mediina, Kiinamyllykatu 10		3 580	2 685	16 953
OY, Lintamäki		27 301	17 901	185 255	TKK, Rehtorintalonkatu 3		1 281	1 138	14 770
OY, Korhokangas, Asfaltite 7		9 357	9 190	58 901	TY, Turun normaalikoulu, Antikankatu 9		696	625	14 053
OY-Meuranenkatu 2	myyty	444	57	4 659	TY, Dentalla, Lemminkäisenkatu 2		1 648	1 744	11 101
OY-Oulungren tutkimuskeskus-Kasarna	sijaitsee kaukana kampusalueesta	401	151	2 832	TY, Sirkkalan kasarmialue		357	490	9 884
Lappi					TY, Hottokatu 2		50	93	4 819
LY, Yliopistonkatu 8		5 149	4 816	37 650	TY, Santola, Lemminkäisenkatu 1		204	94	4 698
TY-Harjontelokuja, Pohjoisenkatu 23	sijaitsee kaukana kampusalueesta	1 420	355	9 058	TY, Fennicum, Henttinkinkatu 3		362	291	3 858
LY-Sijaitsee		887	290	8 233	TY-Kuva Kuvaniemi-Uutisoja	Myyty 2016	330	182	2 680
TAMPERE					TY-Tuusulan eläinlääkintökeskus-Kasarna	sijaitsee kaukana kampusalueesta	227	176	2 306
Hilmenkatina Seminaarin koulu		2 605	518	16 742	TY, Villa Hortus, Hottokatu 3		101	81	1 229
TTY, Hervanta		16 260	17 335	137 864	ÄA, Axella, Piippankatu 8		4 033	1 780	15 186
TAY, Kesäkatokampus		6 511	5 459	70 110					
TAY-Kauppi	uudisrakennus	1 661	1 742	25 604					
TAY-Freen normaalikoulu	sijaitsee kaukana kampusalueesta	1 571	649	10 812					

Päivä: 04/05/2016

## DI-työssä mukana olevat kiinteistöt

KIINTEISTÖT	Syy jättää pois DI-työstä	Mitattu lämmönlukutus 2016 (MWh)	Sähkönlukutus 2016 (MWh)	bruttoala	KIINTEISTÖT	Syy jättää pois DI-työstä	Mitattu lämmönlukutus 2016 (MWh)	Sähkönlukutus 2016 (MWh)	bruttoala
<b>JOENSUU</b>					<b>JYVÄSKYLÄ</b>				
UEF, Joensuun Yliopistotalue		10 801	9 861	94 689	JY, Seminaarinmäki		12 180	5 407	73 440
UEF, Normaalikoulu-Savonlinna	sijaitsee kaukana kampusalueesta	836	35	5 960	JY, Viikinkaari		7 752	12 572	45 778
UEF, Meijerinväen tutkimuskeskus-Kasarna	sijaitsee kaukana kampusalueesta	463	97	3 037	JY, Mattilankylä (A ja B-rakennukset)		1 302	-	9 910
KUOPIO					JY-Ruusuvaikute	uudisrakennus	1 057	748	9 040
UEF, Kuopion Yliopistotalue		14 290	11 293	81 983	JY, Normaalikoulun yläaste-lukio		2 090	786	12 680
UEF, Kint-oy Biotecknia, Neulanenkatu 2	ei energiamanageroinnin piirissä	4 105	2 848	15 626	JY, Normaalikoulun ala-aste		1 076	549	6 405
UEF, Kint-oy Kuopion Oulunkatu	ei energiamanageroinnin piirissä	456	262	2 970	JY, Viikinkaari 1	sijaitsee kaukana kampusalueesta	482	41	3 846
Vaasa					JY, Kanneveden tutkimuskeskus-Kasarna	sijaitsee kaukana kampusalueesta	932	421	3 304
VY, Wollittie 34		1 981	1 704	22 314	JY, Kustajärvenkatu 8	sijaitsee kaukana kampusalueesta	480	263	2 711
VY, Fabrikki, Yliopistonkatu 10		1 315	645	12 021		kaikki	169 353	131 276	1 293 157
ÄA-Ovingskolleas-höglundin, Vaasa	sijaitsee kaukana kampusalueesta	915	414	9 133		pois jätettävät:	24 602	10 734	178 431
ÄA-Ovingskolleas-gymnasium, Vaasa	sijaitsee kaukana kampusalueesta	901	282	7 777					

Päivä: 04/05/2016

## Selvityksen toteutus

- Tämä aurinkosähköpotentiaalin selvitys on toteutettu osana SYK:lle tehtävää diplomityötä ”Kampusalueiden CO<sub>2</sub>-päästöjen pienentäminen uusiutuvan energian keinoin”.
- Aurinkosähköpotentiaali on selvitetty laskemalla SYK:n omistamien rakennusten kattopinta-ala ilmakuvista mittaamalla. Pääasiallisina lähteinä on käytetty seuraavia karttasovelluksia:
  - <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta> (pinta-ala työkalu)
  - <https://www.google.fi/maps> (vertaileva ilmapäätö varjojen todentamiseen)
- Kattopotentiaali on jaettu kahteen luokkaan (A ja B) tarkastelijan havaintojen mukaan. Luokkien kuvaukset seuraavalla sivulla.
- Rakennuskohtaisten ilmakuvien yhteydessä on esitetty laskettu pinta-ala (m<sup>2</sup>). Jokaisen kampuksen jälkeen on kokoava yhteensä - sivu, jolla aurinkosähköpaneelille sopiva pinta-ala (m<sup>2</sup>) on muutettu aurinkosähköenergiaksi (MWh/a)

Päivä: 04/05/2016

## A- ja B-potentiaalin määrittely

### A-potentiaali

”Helposti hyödynnettävissä”

- Yli 100m<sup>2</sup> (yli 50m<sup>2</sup> osissa)
- Tasakatto tai kalvea katto etelään
- Ei merkittäviä varjostavia elementtejä tai läpivientejä katossa

### B-potentiaali

”Epävarmuustekijöitä, vaatii lisäselvitystä”

- Yli 100m<sup>2</sup> (yli 50m<sup>2</sup> osissa)
- Tasakatto jolla läpivientejä
- Kalvea katto itä, kaakko, lounas tai länsi
- Mahdollisia varjoja jotka eivät käy selvästi ilmi ilmakuvista
- Suojellut rakennukset

Potential calculation

## Säteily suomessa- Potentiaalin laskeminen



### Potentiaalin laskemiseen käytetyt kaavat ja oletukset:

- Katolle mahtuvien paneelien lkm =  $\frac{\text{Kattopinta-ala} \cdot \frac{2}{3}}{1,6 \text{ m}^2}$
- Aurinkosähköjärjestelmän teho [kW<sub>p</sub>] = Paneelien lkm \* 260 W
- Järjestelmän tuotto vuodessa [MWh] = teho \*  $900 \frac{\text{kWh}}{\text{kW}_p}$
- Oletuksena aurinkopaneelin koko 1,6 m<sup>2</sup> ja teho 260 W
- Kalvea ja tasakatto lasketaan tässä tarkastelussa samalla kaavalla, koska kattojen kaltevuuskulmaa ei ole tämän selvityksen yhteydessä määritetty.
- Kaikille SYK kampuksille käytetään yhtenevää aurinkoenergian tuottoarvoa 900 kWh/kW<sub>p</sub>

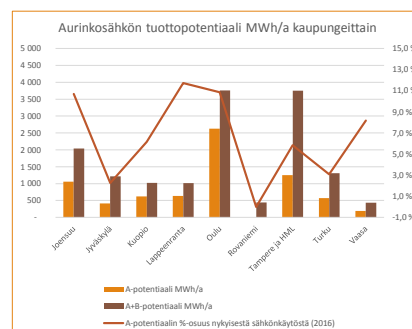
A- ja B-potentiaali on laskettu samoilla kaavoilla, mutta todellisuudessa B-potentiaalin energiantuotto on varmasti alhaisempaa varjoista johtuen.

$$1000\text{m}^2 \text{ KATTOPINTA-ALA} = 108 \text{ kW}_p \text{ TUOTANTOTEHO} = 97,5 \text{ MWh/a}$$

Potential calculation

## TULOKSET

Aurinkosähkön tuottopotentiaali SYK kampuksilla (MWh/a)



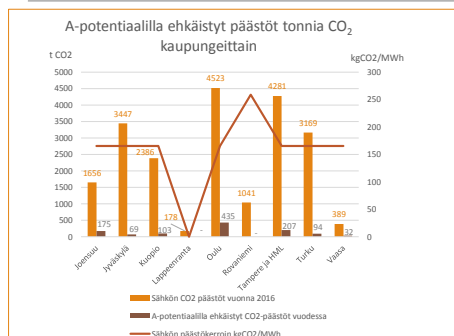
Potentiaalin laskennassa ei ole huomioitu mahdollista ylituotantoa paneeleilla, joka jouduttaisiin myymään ulkoiseen verkkoon. Tarkemmat rakennuskohtaiset potentiaalit seuraavilla sivuilla.

”Ylituotanto” riippuu hyvin voimakkaasti rakennuksen käytöstä. Ei ole helposti yleistettävissä %-osuutta kokonaissähkönkulutuksesta, joka voitaisiin tuottaa paneeleilla täysin kiinteistön omaan käyttöön.

Potential calculation

## TULOKSET

Aurinkosähkön tuottopotentiali SYK kampuksilla (päästövaikutus)



- Kaikki kampukset yhteenlaskettuna aurinkosähköpaneelilla voitaisiin ehkäistä päästöjä vuodessa
  - 1115 t CO<sub>2</sub> (A-potentiaali huomioitu)
  - 2355 t CO<sub>2</sub> (A+B-potentiaali huomioitu)
  - Vuonna 2016 sähkön kokonaispäästöt olivat 21 321 t CO<sub>2</sub>

- Lappeenrannan kampus vääristää lukemia hieman, sillä LUT ostaa sähkönsä täysin uusiutuvana, jolloin sähkön päästökerroin on 0. LUT ehkäistyt päästöt, jos kerroin Hanselin 165:
  - 104 t CO<sub>2</sub> (A-potentiaali huomioitu)
  - 168 t CO<sub>2</sub> (A+B-potentiaali huomioitu)

Päästötietokeskus

## TULOKSET

Aurinkosähkön tuottopotentiali SYK kampuksilla (taulukko)

KAMPUS	Sähkönkulutus DI kiinteistöt 2016 (MWh)	Sähkönkulutus 2016, lasketut rakennukset (MWh)	Sähkön päästökerroin (kgCO <sub>2</sub> /MWh)	Sähkön CO <sub>2</sub> päästöt 2016 (tCO <sub>2</sub> /a)	bruttoala [m <sup>2</sup> ]	nykyinen UE tuotto (MWh/a)	A-potentiaali				B-potentiaali		
							A-POT kattopinta- ala (m <sup>2</sup> )	AS tuotto pot. (kW)	AS tuotto pot. (MWh/a)	2016 sähkönkulu- tuksesta (%) *	Ehkäistyt päästöt (tCO <sub>2</sub> /a)	Kattopinta- ala (m <sup>2</sup> )	A+B-POT tuotto (MWh/a)
Joensuu	9 861	** 9 884	165,7	1 656	94 689	-	10 830	1 173	1 056	10,7 %	175	10 080	2 039
Jyväskylä	19 315	18 318	165,7	3 447	138 302	24	4 260	462	415	2,3 %	69	8 220	1 217
Kuopio	11 293	10 057	165,7	2 386	81 983	1	6 360	689	620	6,2 %	103	4 110	1 021
Lappeenranta	5 400	5 400	-	178	68 880	108	6 490	703	633	11,7 %	-	3 950	1 018
Oulu	27 091	24 184	165,7	4 523	244 156	-	26 920	2 916	2 625	10,9 %	435	11 620	3 758
Rovaniemi	4 816	4 816	259,0	1 041	37 650	-	-	-	-	0,0 %	-	4 550	444
Tampere ja HML	23 312	21 378	165,7	4 281	224 717	60	12 815	1 388	1 249	5,8 %	207	25 625	3 748
Turku	17 106	18 464	165,7	3 169	190 015	-	5 825	631	568	3,1 %	94	7 580	1 307
Vaasa	2 349	2 352	165,7	389	34 336	-	1 970	213	192	8,2 %	32	2 460	432

\* Laskettu rakennusten selvityksessä olevien rakennusten yhteenlasketusta sähkönkulutuksesta 2016

\*\* Joensuun rakennusten sähkönkulutus vuodelta 2015

UE=Uusiutuva energia AS=Aurinkosähkö

Päästötietokeskus

# Kampuskohtaiset rakennuskohtaiset tarkastelut aurinkosähköpotentialista

A-potentiaali  
"Helposti hyödynnettävissä"

B-potentiaali  
"Epävarmuustekijöitä,  
vaatii lisäselvityksiä"

Päästötietokeskus

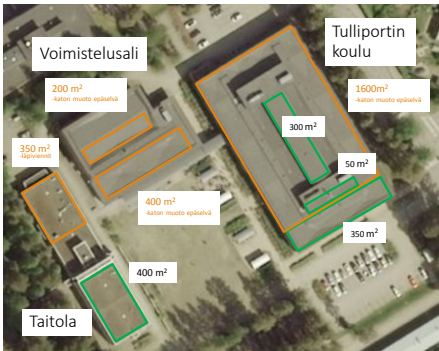
# UEF Joensuun kampus



Joensuun kampusalueesta on mukana tässä selvityksessä kaikki oheisessa kuvassa näkyvät rakennukset. Epätarkkuutta tarkasteluun luovat huonot ilmakuvat Joensuun alueelta.

Pääas: ilmailukartasto

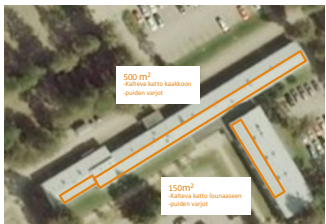
## Joensuu



- Tulliportin koulu, A-pot=700 m²
- Tulliportin koulu, B-pot=1600 m²
- katon korkeuserot epäselvät ja vaikea havaita ilmakuvista
- Voimistelusalii, A-pot=0 m²
- Voimistelusalii, B-pot=600 m²
- Taitola, A-pot=400 m²
- Taitola, B-pot=350 m²

Pääas: ilmailukartasto

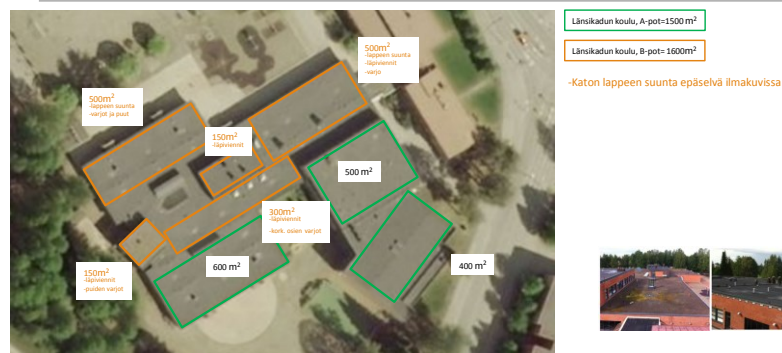
## Joensuu



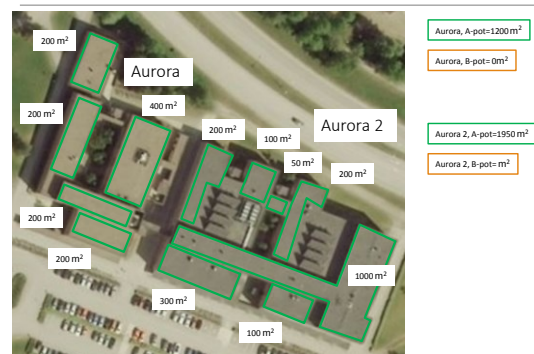
- Educa, A-pot=500 m²
- Educa, B-pot=500 m²

Pääas: ilmailukartasto

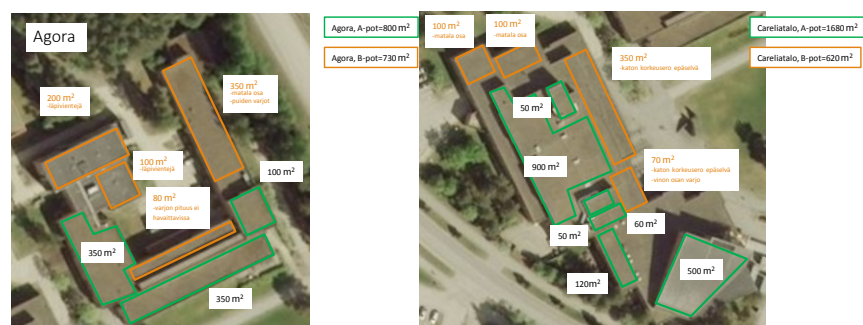
## Joensuu



## Joensuu



## Joensuu



## Joensuu



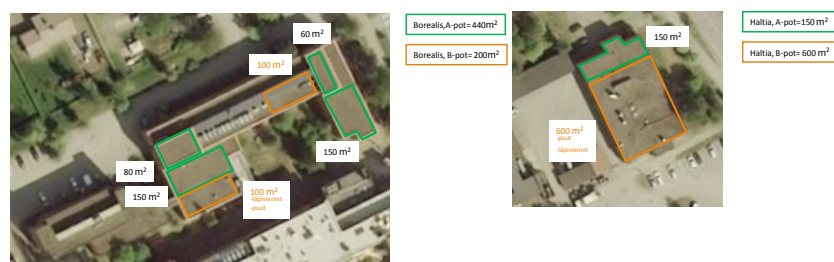
Päivä 10/10/2020

## Joensuu



Päivä 10/10/2020

## Joensuu



Päivä 10/10/2020



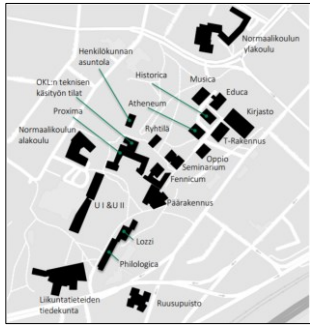
## UEF Joensuu yhteenveto

Rakennus	Katolityyppi	A-potentiaali [m²]	B-potentiaali [m²]	A-potentiaali muuttelu [kWh/a]	A-potentiaali muuttelu [MWh/a]	A+B-potentiaali muuttelu [MWh/a]	Sähkönkulutus 2015 [MWh]	A-pot %	A+B-pot %
UEF Joensuun yliopistoalue									
Aurora 2	fasiakatto	1 950	-	211	190	190	1 202	16 %	16 %
Carelatalo	fasiakatto+viikse-osa	1 680	620	182	164	224	1 038	16 %	22 %
Länsikodun koulu	oiva kate (1.80)	1 500	1 600	163	146	302	484	30 %	62 %
Aurora	fasiakatto	1 200	-	130	117	117	422	28 %	28 %
Mietia	fasiakatto	1 030	400	112	100	139	882	11 %	16 %
Aurora	fasiakatto	800	730	87	78	149	529	15 %	28 %
Talvipolikoulu	fasiakatto	700	1 600	74	68	224	255	27 %	88 %
Educa	kalteva	500	500	54	49	98	464	11 %	21 %
Natura	fasiakatto	480	380	52	47	84	976	5 %	9 %
Borealis	fasiakatto	440	200	48	43	62	1 659	3 %	4 %
Talvia	fasiakatto	400	350	43	39	73	71	55 %	103 %
Haltia	fasiakatto	150	600	16	15	73	271	5 %	27 %
Kulturi	fasiakatto	-	1 850	-	-	180	1 115	0 %	15 %
Väestökeskus	fasiakatto	-	600	-	-	59	418	0 %	14 %
Regio	kalteva	-	650	-	-	63	98	0 %	65 %
YHTEENSÄ		10 830	10 080	1 173	1 054	2 039	9 884	11 %	21 %



## Jyväskylä

SEMINAARINMÄKI, NORMAALIKOULUN YLÄKOULU & NORMAALIKOULUN ALAKOULU



Jyväskylän Seminaarinmäen osalta mukana tässä selvityksessä oheisessa kartassa näkyvät rakennukset.

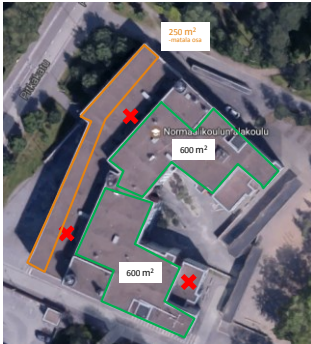
Pois tarkastelusta jätetään:

- Ruusupuisto (uudisrakennus)
- Oppio
- Seminarium
- Ryhtilä
- Henkilökunnan asuntola
- OKL:n teknisen käsityön tilat
- U I & UII (koko katto kalteva luoteeseen)

Puiden keskellä

## Jyväskylä

SEMINAARINMÄKI, NORMAALIKOULUN ALAKOULU JA NORMAALIKOULUN YLÄKOULU



Normaalikoulun alakoulu, A-pot=1200 m²  
Normaalikoulun alakoulu, B-pot=250 m²

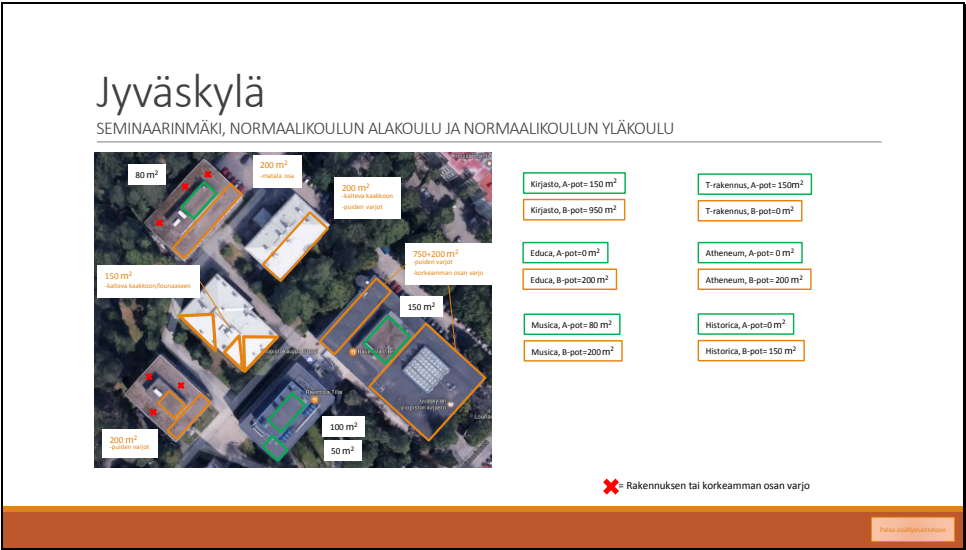
Normaalikoulun yläkoulu, A-pot=0 m²  
Normaalikoulun yläkoulu, B-pot=1020 m²

✗ = Rakennuksen tai korkeamman osan varjo



Pois tarkastelusta





# Jyväskylä

YLISTÖNRINNE




Jyväskylän Ylistönrinteen osalta mukana tässä selvityksessä oheisessa kartassa näkyvät rakennukset. Mattilanniemen kiinteistö ei ole mukana tarkastelussa lainkaan.

Pääasiallisuus

# Jyväskylä

YLISTÖNRINNE




Kemian laitosrakennukset, A-pot= 1020 m²

Kemian laitosrakennukset, B-pot= 200 m²

Pääasiallisuus


# Jyväskylä

YLISTÖNRINNE



Fysiikan laitosrakennus, A-pot= 1300 m²

Fysiikan laitosrakennus, B-pot= 870 m²



✖ Rakennuksen tai korkeamman osan varjo

Pääasiallisuus

# Jyväskylä

YLISTÖNRINNE

80 m² kokeilu

50 m² kokeilu

150 m² kokeilu

220 m² kokeilu

110+130 m² kokeilu

100 m² kokeilu

80 m² kokeilu

80 m² kokeilu

NanoScience center, A-pot= 0 m²

NanoScience center, B-pot=920 m²

<https://varma.fi/fi/mse>

varma rakennus

Pääasiallisuus

# Jyväskylä

YLISTÖNRINNE

70 m² kokeilu

150 m² kokeilu

100 m² kokeilu

60 m² kokeilu

70 m² kokeilu

80 m² kokeilu

70 m² kokeilu

60 m² kokeilu

Antibiotica, A-pot= 210 m²

Antibiotica, B-pot= 450 m²

✗ = Rakennuksen tai korkeamman osan varjo

Pääasiallisuus

# Jyväskylä

YLISTÖNRINNE

60 m² kokeilu

200 m² kokeilu

200 m² kokeilu

Laboratoriolakeskus, A-pot= 0 m²

Laboratoriolakeskus, B-pot=260 m²

Pääasiallisuus

Jyväskylä yhteenveto

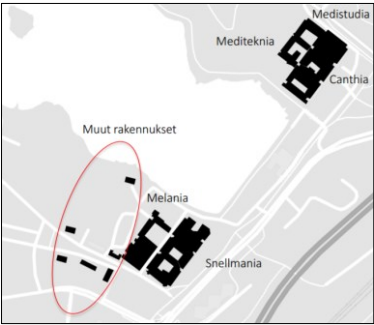
Rakennus	kattotyyppi	A-potentiaali [m²]	B-potentiaali [m²]	A-potentiaali muutettu teho [kWp]	A-potentiaali muutettu [MWh/a]	A+B-potentiaali muutettu [MWh/a]	Sähkönkulutus 2018 [MWh]	A-pot %	A+B-pot %
Jyväskylä, Seminaarimäki									
Normaalkoulun ala-oulu	Tasakatto	1 200	230	130	117	141	549	21 %	26 %
Opisto	Tasakatto	150	930	16	15	107	1 281	1 %	8 %
Trakernus	Tasakatto	150	-	16	15	15	521	3 %	3 %
Proxima	Kalteva	130	120	16	15	26	252	6 %	10 %
Musica	Tasakatto	80	200	9	8	27	225	3 %	12 %
Lukutalouteen tiedekunta	Tasakatto	-	1 240	-	-	170	546	0 %	20 %
Normaalkoulun yläoulu	Kalteva	-	1 020	-	-	99	786	0 %	13 %
Philologica	Kalteva	-	450	-	-	44	24	0 %	18 %
Päätökentus	Tasakatto	-	300	-	-	29	464	0 %	6 %
Idussa	Kalteva	-	200	-	-	20	92	0 %	21 %
Historica	Kalteva	-	130	-	-	15	137	0 %	11 %
Athenaeum	Tasakatto	-	200	-	-	20	135	0 %	14 %
Fennicum	Tasakatto	-	200	-	-	20	45	0 %	43 %
Oik:n teknisen käytävän tilat	Tasakatto	-	-	-	-	-	82	0 %	0 %
Lozi	Kalteva	-	-	-	-	-	306	0 %	0 %
Jyväskylä, Yläkenttine									
Jätkön talonrakennus	Tasakatto	1 300	870	141	127	212	5 525	2 %	4 %
Tieteen talonrakennukset	Tasakatto	1 020	200	111	99	119	1 836	5 %	6 %
Ambiologia	Tasakatto	210	430	23	20	44	2 463	1 %	2 %
Nano Science center	Tasakatto	-	920	-	-	90	2 241	0 %	4 %
Laboalokkeus	Kalteva	-	260	-	-	25	302	0 %	8 %
YHTEENSÄ		4 240	8 230	442	414	1 217	18 318	4 %	7 %



\*Fysikaalilaitoksen sähkönkulutus sisältää hiukkaskiihdyttimen sähkönkulutuksen

Pääasialliset rakennukset

UEF Kuopion kampus



Kuopion kampuksen osalta mukana tässä selvityksessä rakennukset:

- Medistudia
- Mediteknia
- Canthia
- Snellmania
- KEK

Pois tarkastelusta jätetään pienet rakennukset, jotka kartassa on ympäröity punaisella. Rakennukset ovat pieniä yksikerroksisia taloja metsän keskellä, joten ne eivät ole potentiaalisia paikkoja paneeleille. Myös Melania jätetään tarkastelusta, koska sen katolla on jo aurinkopaneelit.

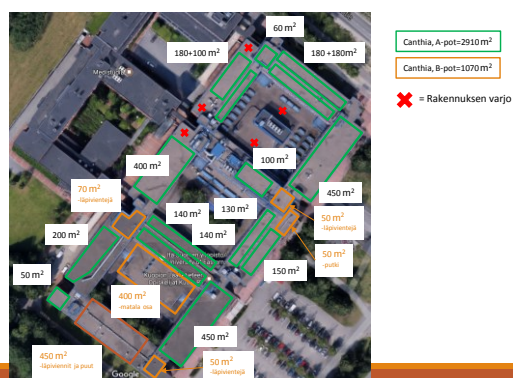
Pääasialliset rakennukset

Kuopio



Pääasialliset rakennukset

Kuopio



Kuopio



Kuopio





## UEF Kuopio yhteenveto

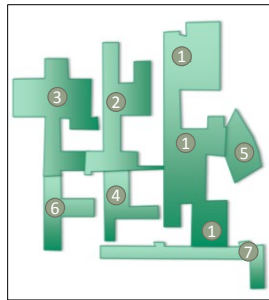
Rakennus	käyttötyyppi	A-potentiaali [m <sup>2</sup> ]	B-potentiaali [m <sup>2</sup> ]	A-potentiaali muutettu teho [kWp]	A-potentiaali muutettu [MWh/a]	A+B-potentiaali muutettu [MWh/a]	Sähkön- kulutus 2016 [MWh]	A-pol %	A+B-pol %
UEF, Kuopion yliopistoalue									
Canthia	kasakatto	2 910	1 070	315	284	388	4 237	7 %	9 %
Shellmania	kasakatto	2 480	1 680	269	242	406	4 408	5 %	9 %
Medistudio	kasakatto	530	210	57	52	72	274	19 %	26 %
Mediteknia	kasakatto	440	300	48	43	92	1 138	4 %	8 %
KEK	kasakatto (matala)	-	650	-	-	63	ei mitattua eristysarvoa	-	-
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>6 340</b>	<b>4 110</b>	<b>689</b>	<b>620</b>	<b>1 021</b>	<b>10 057</b>	<b>4 %</b>	<b>10 %</b>



Päivä: 14/03/2019

## Lappeenranta

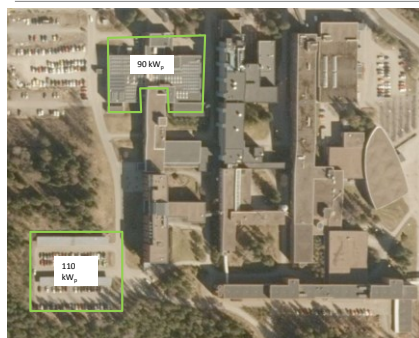
Lappeenrannan kampuksesta tässä selvityksessä on mukana koko Skinnarilan kampusalue.



© Raimo Suomela 2013

Päivä: 14/03/2019

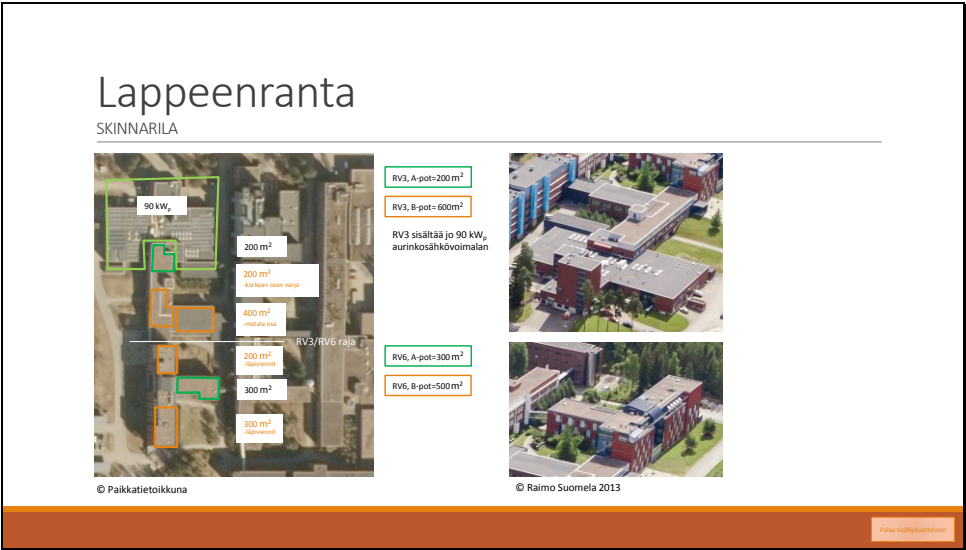
## Lappeenranta, nykyinen aurinkosähkön tuotto



© Paikkatietoikkuna

- Olemassa oleva aurinkosähkötuotanto: **~200 kW<sub>p</sub> = 125 MWh/a**
- Tulossa oleva RV1 peruskorjauksen myötä **~350 kW<sub>p</sub>**

Päivä: 14/03/2019



Lappeenranta

SKINNARILA

260 m<sup>2</sup>

230 m<sup>2</sup>

300 m<sup>2</sup>

250 m<sup>2</sup>

200 m<sup>2</sup>

80 m<sup>2</sup> muutama ovi

RV7, A-pot= 1240 m<sup>2</sup>

RV7, B-pot= 80 m<sup>2</sup>

© Paikattietoikkuna

© Raimo Suomela 2013

Paikattietoikkuna

Lappeenranta yhteenveto

Rakennus	käyttötyyppi	A-potentiaali [m <sup>2</sup> ]	B-potentiaali [m <sup>2</sup> ]	A-potentiaali muuteltu leho [kWp]	A-potentiaali muuteltu [MWh/a]	A+B-potentiaali muuteltu [MWh/a]	Sähkönkulutus 2016 [MWh]	A-pot %	A+B-pot %
Lappeenranta, Skinnarila									
RV1	Tasokatto	2 870	1 400	311	280	416	ei mitoitettu ennsseen	-	-
RV5	Tasokatto	1 100	-	119	107	107	ei mitoitettu ennsseen	-	-
RV7	Tasokatto	1 240	80	134	121	129	1 031	12 %	12 %
RV4	Tasokatto	400	400	40	39	78	381	10 %	20 %
RV2	Tasokatto	380	970	41	37	130	1 367	3 %	10 %
RV3	Tasokatto	200	600	22	20	78	665	3 %	12 %
RV6	Tasokatto	300	500	33	29	78	ei mitoitettu ennsseen	-	-
YHTEENSÄ		6 470	3 950	703	623	1 018	5 400	+ 12 %	19 %

Nykyinen aurinkosähkön tuotto vuonna 2016 : 125 MWh, 2 % vuoden 2016 kokonaiskulutuksesta

\* Koko Skinnarilan sähkön kulutus vuonna 2016

Paikattietoikkuna

Oulu

LINNANMAA

Käytetty huoneet (ei opetus & toimintatila)

Yläaste ja lukio (opetus)

Alla-aste (opetus)

Opetus, kirjasto

Toimisto, opetus

Opetus, toimisto

Opetus, laborat

Opetus, laborat

Opetus, laborat

Opetus, laborat

Opetus, ympäristö-talo

Ympäristö-talo

PSOAS (toimisto)

Hallinto-rakennus

Toimisto

Tietotekniikka

Opetus, toimisto

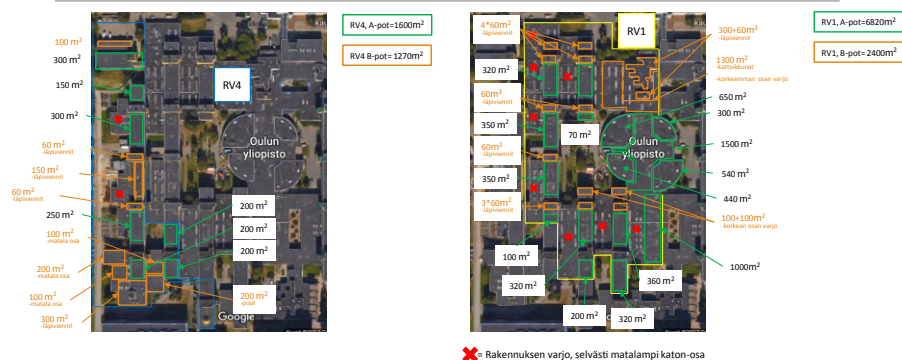
➤ Oulun Linnanmaan kampuksen osalta tarkastelussa on mukana kaikki sen rakennukset, jotka näkyvät viereisessä kartassa.

Paikattietoikkuna



## Oulu

LINNANMAA

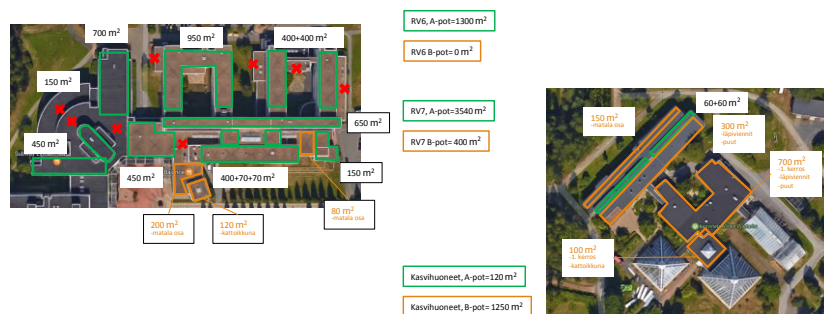


✗ Rakennuksen varjo, selvästi matalampi katon-osa

Potensiaalivertailu

## Oulu

LINNANMAA

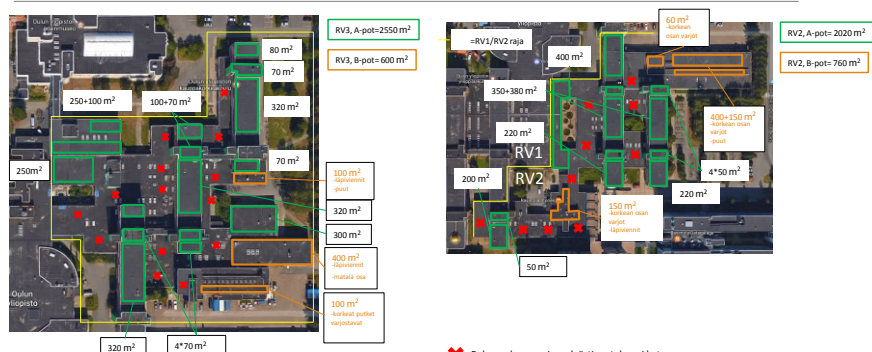


✗ Rakennuksen varjo, selvästi matalampi katon-osa

Potensiaalivertailu

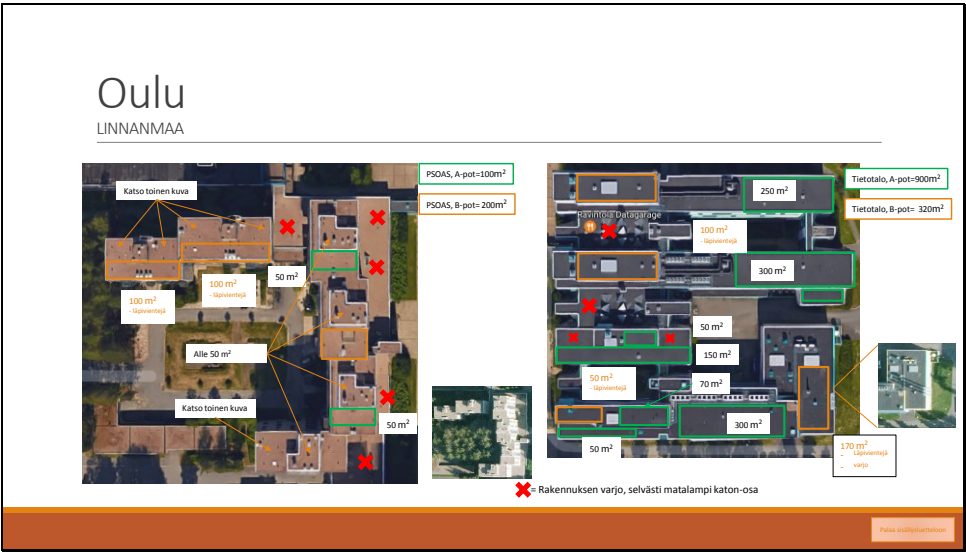
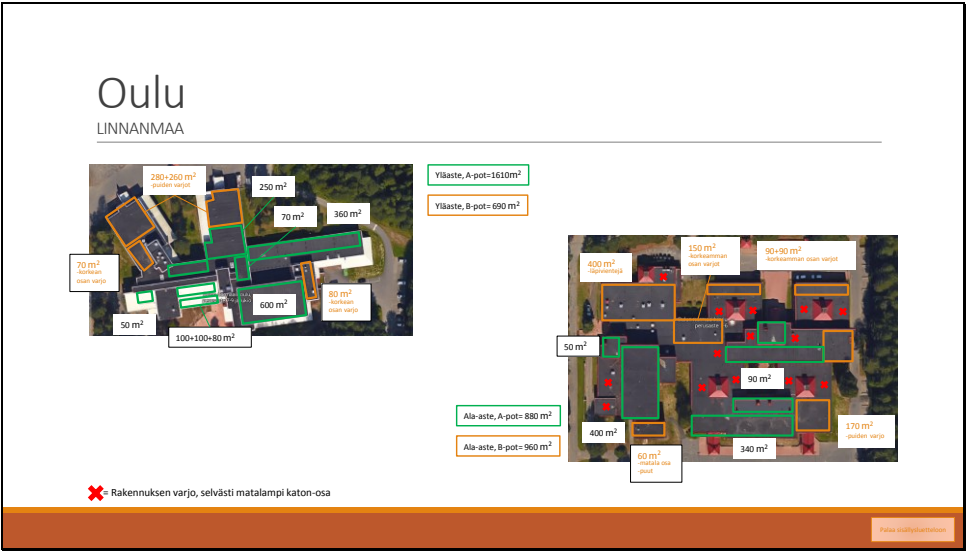
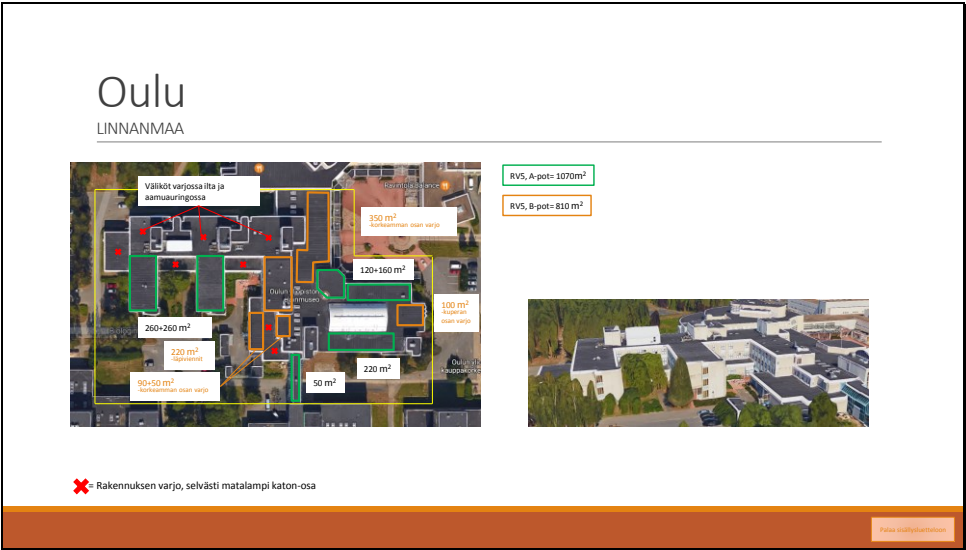
## Oulu (RV2 ja RV3)

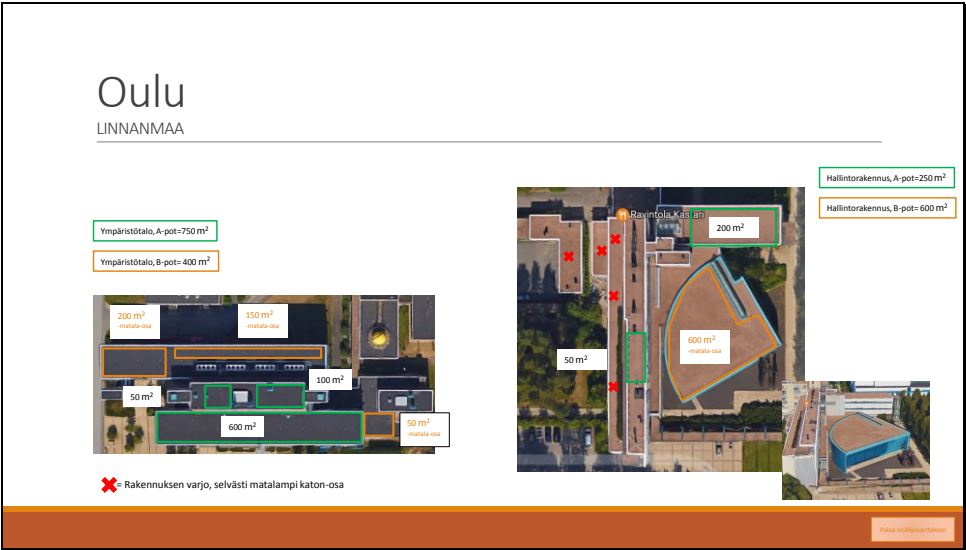
LINNANMAA



✗ Rakennuksen varjo, selvästi matalampi katon-osa

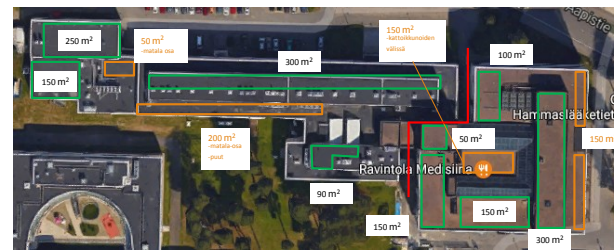
Potensiaalivertailu





## Oulu

KONTINKANGAS



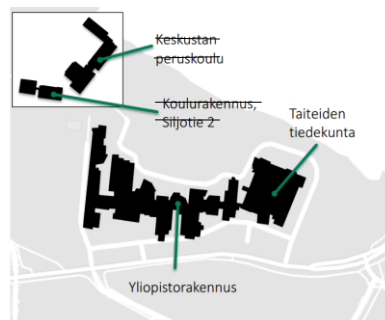
## Oulu yhteenveto

Rakennus	Käyttötyyppi	A-potensiaali [m²]	B-potensiaali [m²]	A-potensiaali muuttelu [kWp]	A-potensiaali muuttelu [MWh/a]	A+B-potensiaali muuttelu [MWh/a]	Sähkönkulutus 2014 [MWh]	A-pot %	A+B-pot %
<b>Oulu, Uimahallat</b>									
UV1	Tasakatto	6 820	2 400	739	665	899	4 216	16 %	21 %
UV3	Tasakatto	3 550	400	385	346	405	1 755	20 %	23 %
UV7	Tasakatto	3 540	400	384	345	384	1 573	22 %	24 %
UV2	Tasakatto	2 020	720	219	197	271	1 313	10 %	14 %
Yläaste	Tasakatto	1 610	490	174	157	224	535	29 %	42 %
UV4	Tasakatto	1 400	1 270	175	156	280	917	17 %	31 %
UV5	Tasakatto	1 300	-	141	127	127	761	17 %	17 %
UV6	Tasakatto	1 070	810	116	104	183	1 157	9 %	16 %
Tenaritilo	Tasakatto	900	320	98	88	119	2 735	3 %	4 %
Alueaste	Tasakatto	880	940	95	86	179	1 051	8 %	17 %
Ympäristötila	Tasakatto	750	400	81	73	112	485	15 %	23 %
Hallintorakennus	Tasakatto	250	400	27	24	83	954	3 %	9 %
Kasvihuoneet	Tasakatto	120	1 250	13	12	134	469	2 %	28 %
PSOAS	Tasakatto	100	200	11	10	29	5	0 %	2 %
<b>Oulu, Kontinkangas</b>									
Laitosrakennus 1	Tasakatto	870	410	94	85	125	2 124	4 %	6 %
Laitosrakennus 2	Tasakatto	790	250	85	77	101	2 167	4 %	5 %
Päärakennus	Tasakatto	750	300	81	73	102	1 372	5 %	7 %
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>24 920</b>	<b>11 620</b>	<b>2 918</b>	<b>2 625</b>	<b>3 758</b>	<b>24 184</b>	<b>10 %</b>	<b>14 %</b>

\* Vuoden 2015 kulutus



## Lappi



➤ Lapin kampuksen osalta selvityksessä on mukana vain Yliopistonkatu 8 kiinteistö.

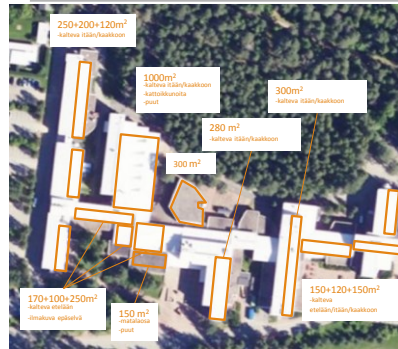
➤ Rovaniemen ilmakuvat ovat epäselviä ja vaikeuttavat potentiaalain arviointia. Tästä johtuen myös etelään suuntautua harjakatto lasketaan B-potentiaalin piiriin.



Lähde: <http://www.juhanikatainen.fi/arkkitehtuuri/>

# Lappi

YLIOPISTONKATU 8



A-E osa, B-pot= 3540m²

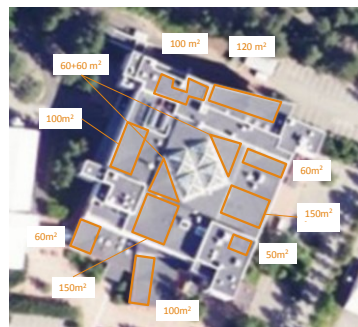
➤ A-E osan katto harjakattoa, joka suuntautuu suurelta osin kaakkoon ja luoteeseen. Rovaniemen ilmakuvat ovat epäselviä ja vaikeuttavat potentiaalin arviointia. Tästä johtuen myös etelään suuntautua harjakatto lasketaan B-potentiaalin piiriin.


Lähde: <http://www.juhanikatainen.fi/arkkitehtuuri/>

Pääsuunnittelija

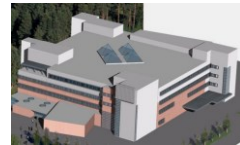
# Lappi

YLIOPISTONKATU 8



F-osa, B-pot= 1010m²

➤ Rovaniemen ilmakuvat ovat epäselviä ja katon korkeuseroja on mahdoton tulkita. Tästä syystä myös F-osan potentiaali on luokiteltu B-potentiaaliin.



Havainnekuva ja Ilmakuva eivät täysin vastaa toisiaan. Potentiaali vaikea arvioida  
Lähde: <http://www.juhanikatainen.fi/arkkitehtuuri/>

Pääsuunnittelija

# Lappi yhteenveto

Rakennus	kattotyyppi	A- potentiaali [m²]	B- potentiaali [m²]	A- potentiaali muutettu teho [kWp]	A- potentiaali muutettu [MWh/a]	A+B- potentiaali muutettu [MWh/a]	Sähkön- kulutus 2016 [MWh]	A-pot %	A+B-pot %
Lappi, Yliopistonkatu 8									
Yliopistorakennus, A-E osa	kalteva katto	-	3 540	-	-	345	3 375	0 %	10 %
Taiteiden tiedekunta, F-osa	tasakatto	-	1 010	-	-	98	1 441	0 %	7 %
<b>YHTEENSÄ</b>		-	<b>4 550</b>	-	-	<b>444</b>	<b>4 816</b>	<b>0 %</b>	<b>17 %</b>

➤ Rovaniemen ilmakuvat ovat epäselviä ja vaikeuttavat potentiaalin arviointia. Tästä johtuen myös etelään suuntautua harjakatto lasketaan B-potentiaalin piiriin.

Pääsuunnittelija



# Tampere, TAY



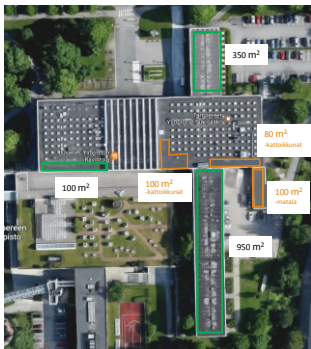
TAY:n osalta mukana tässä selvityksessä koko keskusta kampus, joka pitää sisällään rakennukset:

- Pinni A
- Pinni B
- Päärakennus
- Atalpa

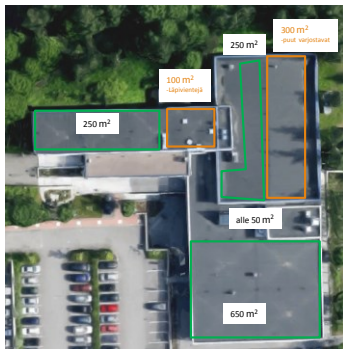
Pääas: suunnittelutoimisto

# Tampere

TAY



Päätila, B-poti=280 m²  
Päätila, A-poti=1300 m²

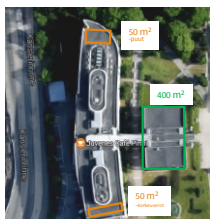


Atalpa, A-poti=1150 m²  
Atalpa, B-poti=400 m²

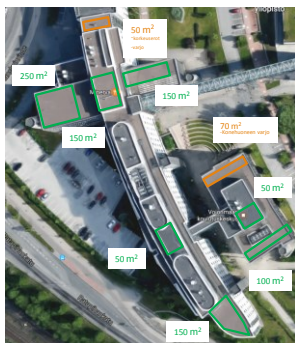
Pääas: suunnittelutoimisto

# Tampere

TAY



Pinni A, A-poti=400 m²  
Pinni A, B-poti=100 m²



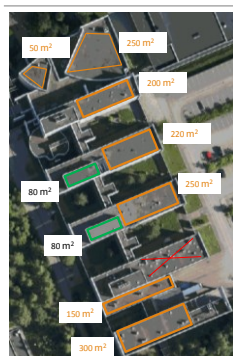
Pinni B, A-poti=900 m²  
Pinni B, B-poti=130 m²

Pääas: suunnittelutoimisto



Tampere

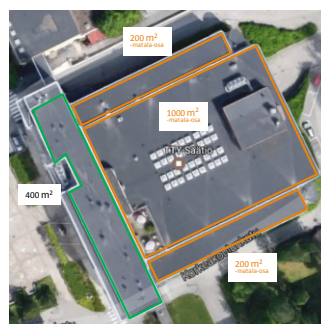
TTY



Festia, A-pot=160 m<sup>2</sup>

Festia, B-pot=1420 m<sup>2</sup>

-Paljon läpivientejä ja  
Eri tasoisia kattoja

Päärakennus, A-pot=400 m<sup>2</sup>

Päärakennus, B-pot=1400 m<sup>2</sup>

Palaa sisälyhyteloon

Tampere

TTY

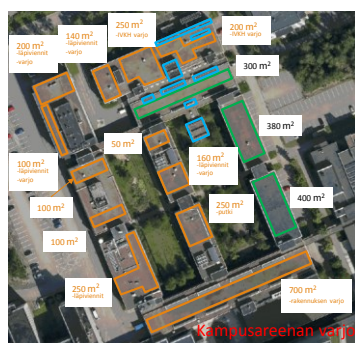
Rakennustalo, A-pot=2975 m<sup>2</sup>

Rakennustalo, B-pot= 680 m<sup>2</sup>

Palaa ussitähtäminen

Tampere

TTV



Sähkötalo, A-pot=1080 m<sup>2</sup>

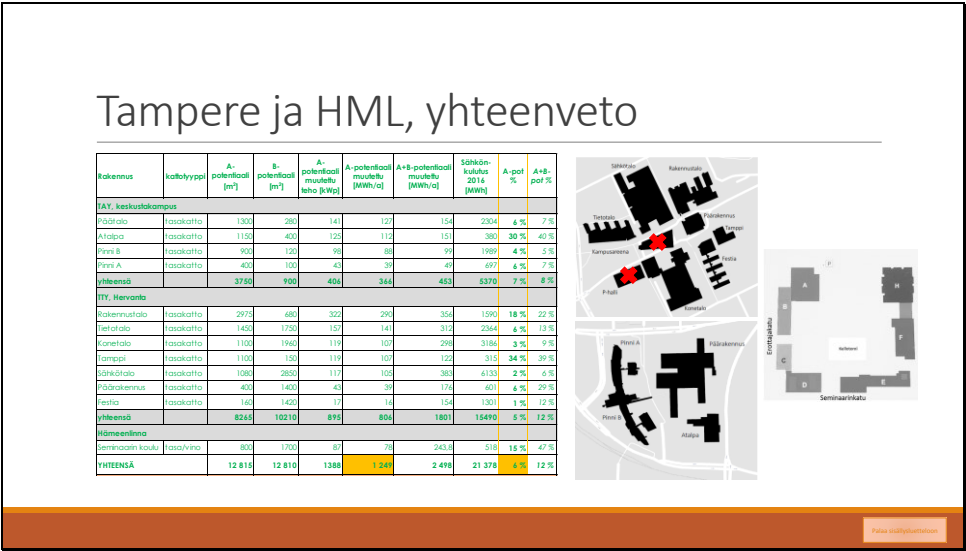
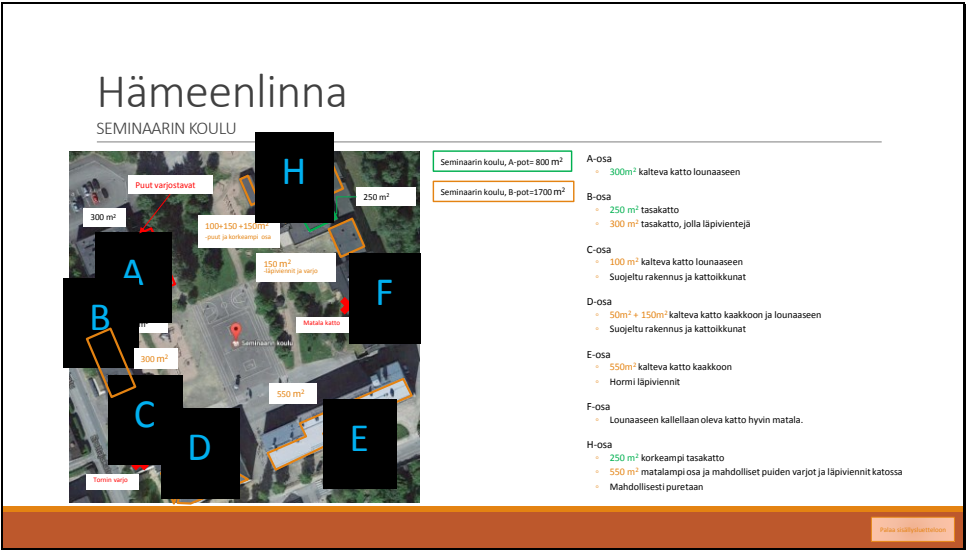
Sähkötalo, B-pot= 2850 m<sup>2</sup>

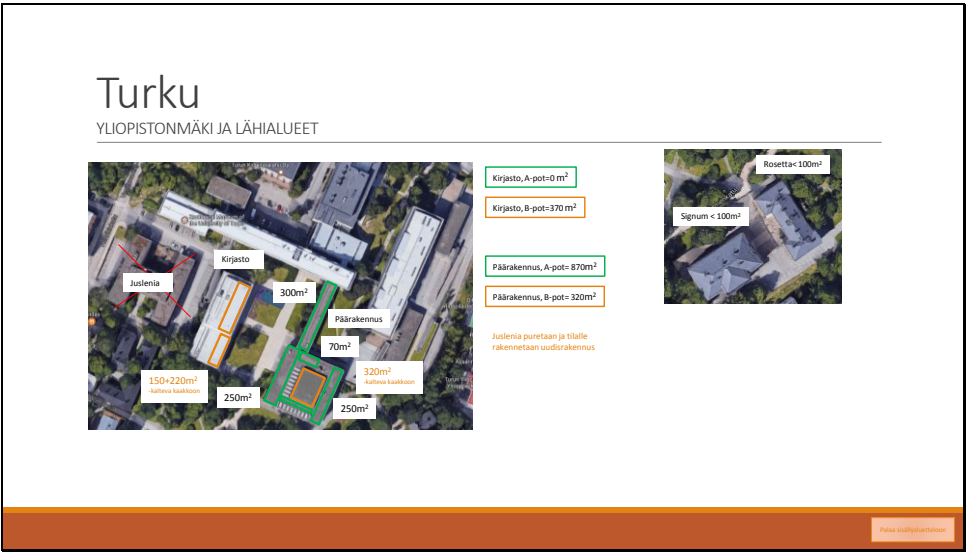
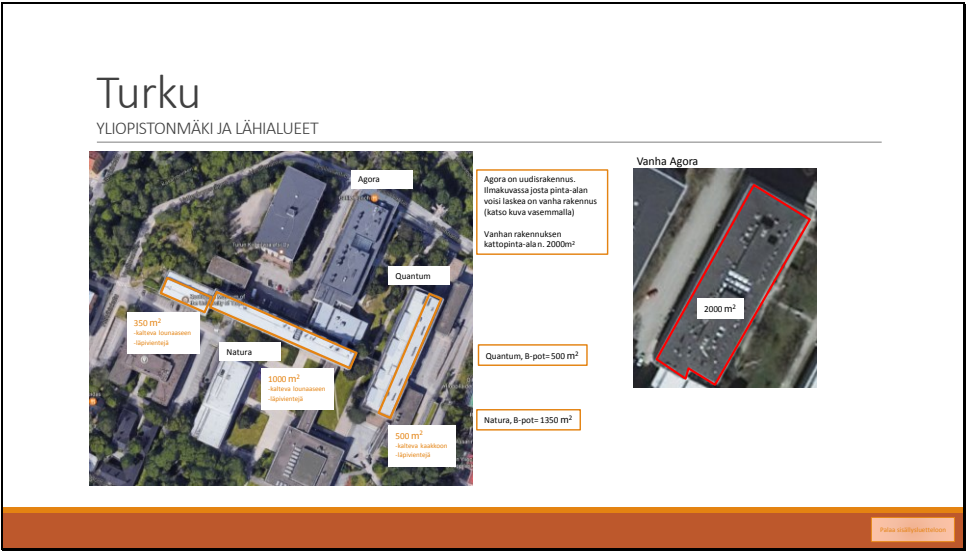
Nykyisiä paneeleita

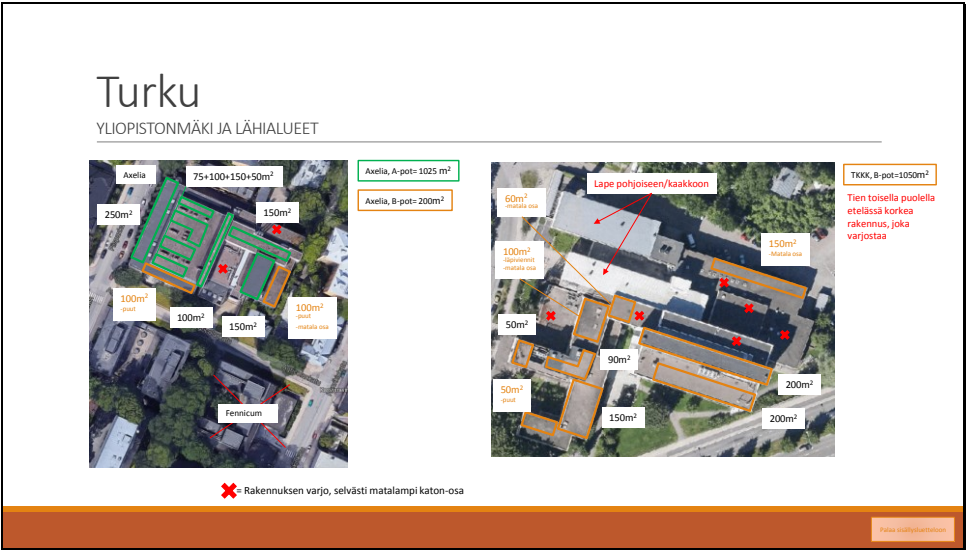


Palaa sisällyshuhteroon



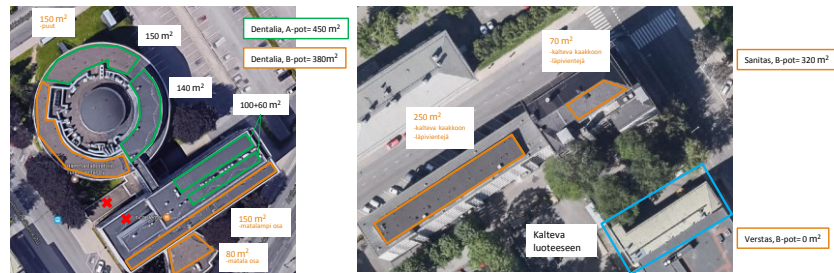






# Turku

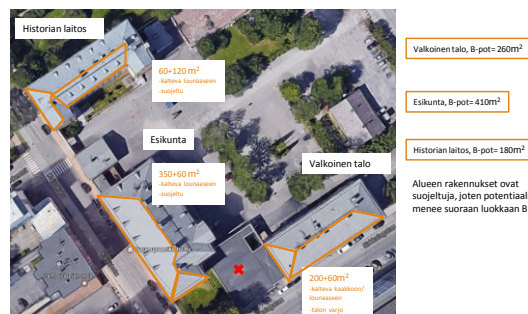
SIRKKALAN KASARMI JA LÄHIALUEET



Potential energy

# Turku

SIRKKALAN KASARMI JA LÄHIALUEET



Alueen rakennukset ovat suojeltuja, joten potentiaali menee suoraan luokkaan B

Potential energy

# Turku yhteenveto



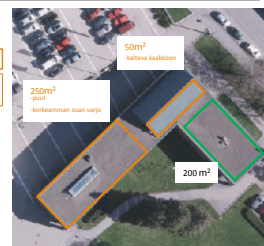
Rakennus	Kalvotyypit	A- potentiaali [m²]	B- potentiaali [m²]	A- potentiaali muutettu teho [kWp]	A- potentiaali muutettu [MWh/a]	A+B- potentiaali muutettu [MWh/a]	Sähkön- kulutus 2016 [MWh]	A-pot %	A+B-pot %
<b>Turku, Kasarmialue</b>									
Publicum	Rakennus- ja rakennus- ja	890	-	96	87	87	727	12 %	12 %
Arcorum	Rakennus- ja rakennus- ja	690	1 050	75	67	170	2 427	3 %	7 %
Calonia	Rakennus- ja rakennus- ja	630	-	68	61	61	329	19 %	19 %
Educatum	Rakennus- ja	580	1 360	63	57	189	1 743	3 %	11 %
<b>Turku, Yliopistoseutu</b>									
Pääkirjasto	Rakennus- ja rakennus- ja	870	320	94	85	116	266	30 %	41 %
Natura	Kalvea rakennus- ja	-	1 330	-	-	132	869	0 %	15 %
Quantum	Kalvea rakennus- ja	-	300	-	-	49	1 989	0 %	2 %
Kipasto	Kalvea rakennus- ja	-	300	-	-	31	340	0 %	9 %
Agora/LIT2	Eläin- ja rakennus- ja	-	-	-	-	-	871	0 %	0 %
Säpinä	Eläin- ja rakennus- ja	-	-	-	-	-	134	0 %	0 %
Rosetta	Eläin- ja rakennus- ja	-	-	-	-	-	121	0 %	0 %
<b>Turku, Sirkkalan Kasarmialue</b>									
Esikunta	Kalvea rakennus- ja	-	410	-	-	40	401	0 %	10 %
Valkoinen talo	Kalvea rakennus- ja	-	260	-	-	25	95	0 %	22 %
Historian laitos	Kalvea rakennus- ja	-	180	-	-	18	79	0 %	22 %
<b>Turku, Muut kineetit</b>									
TICK	Rakennus- ja rakennus- ja	690	360	75	67	102	1 138	6 %	9 %
Dentalia	Rakennus- ja	450	380	49	44	81	1 744	3 %	5 %
Mediina A-C	Kalvea rakennus- ja	-	370	-	-	56	2 685	0 %	2 %
Sanitas	Rakennus- ja	-	320	-	-	31	437	0 %	7 %
Veritas	Rakennus- ja	-	-	-	-	-	269	0 %	0 %
<b>Turku, Abo Akademi</b>									
A.A. Abo	Rakennus- ja	1 025	200	111	100	119	1 780	6 %	7 %
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>8 825</b>	<b>7 580</b>	<b>631</b>	<b>545</b>	<b>1 307</b>	<b>18 454</b>	<b>3 %</b>	<b>7 %</b>

\* Vuoden 2015 kulutus

Potential energy

- Wolffintie 34
- Fabriikki, Yliopistonranta 10.

**X** = Rakennuksen varjo



Luotsi, B-pot=300 m<sup>2</sup>

100 m<sup>2</sup>

100 m<sup>2</sup>  
-korkeamman osan varjo

150 m<sup>2</sup>  
-gilepiti varjo haitallinen

100 m<sup>2</sup>  
-kallion laakso

500 m<sup>2</sup>  
-gilepiti varjo haitallinen

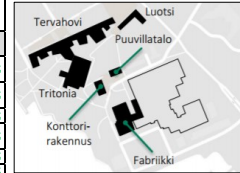
Fabriikki, B-pot=200 m<sup>2</sup>



Konttorirakennus, B-pot=0 m<sup>2</sup>

## Vaasa yhteenveto

Rakennus	kattotyypi	A- potentiaali [m²]	B- potentiaali [m²]	A- potentiaali muutelu teho [kWq]	A- potentiaali muutelu [MWh/a]	A+B- potentiaali muutelu [MWh/a]	Sähkön- kulutus 2016 [MWh]	A-pot %	A+B-pot %
<b>Vaasan Yliopistotalo</b>									
Fabriikki	fasakatto/kalteva katto	750	200	81	73	93	645	11 %	14 %
Tervahovi	fasakatto/kalteva katto	550	1 420	60	54	192	846	6 %	22 %
Triloria	fasakatto	470	400	51	46	85	635	7 %	13 %
Luotsi	fasakatto/kalteva katto	200	300	22	20	49	109	18 %	45 %
Puuvillatalo	kaltevakatto	-	140	-	-	14	28	0 %	49 %
Konttorirakennus	kaltevakatto	-	-	-	-	-	89	0 %	0 %
<b>YHTEENSÄ</b>		<b>1 970</b>	<b>2 460</b>	<b>213</b>	<b>192</b>	<b>432</b>	<b>2 352</b>	<b>6 %</b>	<b>18 %</b>



## Liite 2. Maalämpöpotentiaali SYK kampuksilla

# Maalämpö potentiaali SYK kampuksilla

30.4.2017

SOVELTUVAUS KAMPUKSITTAIN/KAUPUNGEITTAIN

UUSIUTUVAN ENERGIAN POTENTIAALI SYK:N KAMPUKSILLA DI-TYÖ

EVELIINA SALERMA

Päivitetty 2.11.2017

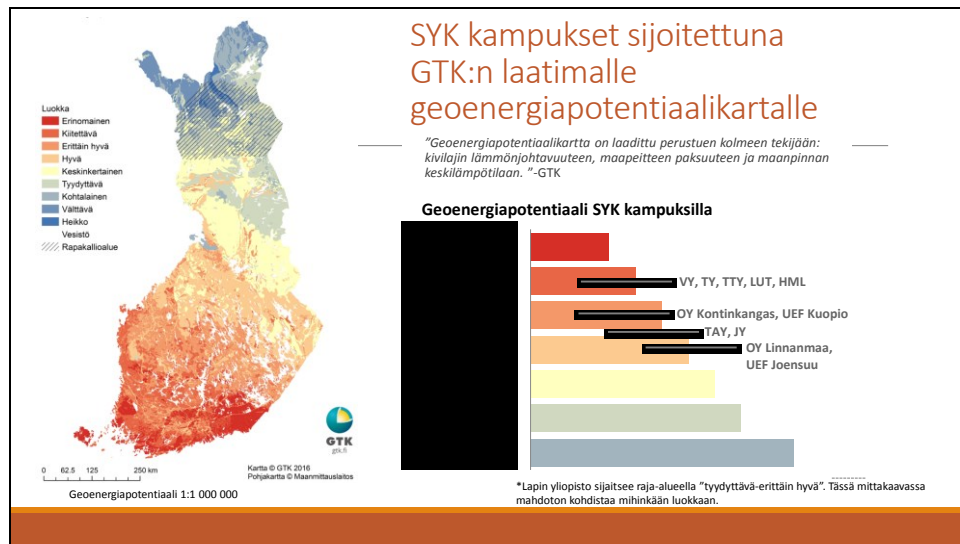
## Yleistä

- Suomen kivilajien keskimääräinen lämmönjohtavuus on 3,24 W/(mK), mutta se vaihtelee yleisesti välillä 2-4 W/(mK)
- Maanpeitteen paksuudella tarkoitetaan kallioperää peittävää irtomaapeitteen paksuutta. Maanpeitepaksuus voi vaihdella korttelitasollakin merkittävästi. Suuri maapeitteen paksuus nostaa maalämpökaivojen porauskustannuksia, sillä pehmeän maan osuudelle tulee rakentaa suojaputki joka nostaa porauskustannuksia. GTK:n mukaan maaporaus on kalliiporausta noin kaksi kertaa kalliimpaa.
- Pohjavesialue ei sinänsä vähennä geoenergiapotentiaalia maankamarassa, mutta lupamenettely näillä alueilla voi olla haasteellista.

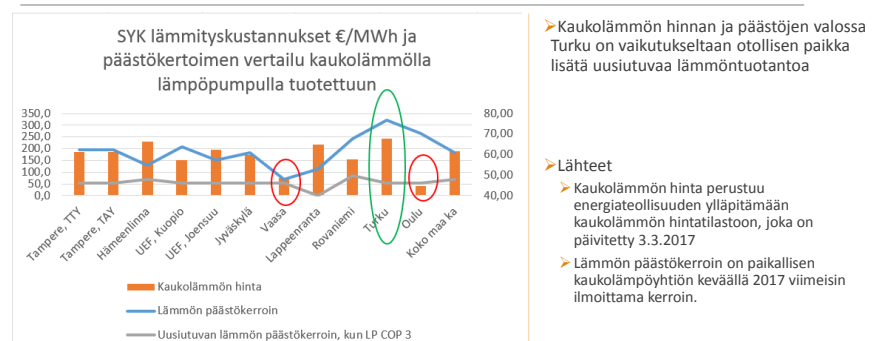
## Lähdeaineisto

- **Maapeitteen paksuus kampusalueilla:** GTK:n karttaa ei ole tarkoitettu kohteelliseen tarkasteluun, mutta sen avulla voidaan suuntaa antavasti määrittää alueen geoenergiapotentiaali
  - Lähde 1: GTK hakkukarttapalvelu, maapeitepaksuus 1:1 000 000
  - Lähde 2: GTK, Asmo Huusko, porareiden kairautietoja. Maapeitepaksuudet on viety kartalle kairauksen paikkatietojen avulla.
  - Lähde 3: GTK, Oulun geoenergiapotentiaalin karttoitus
- **Kivilaji ja sen lämmönjohtavuus**
  - Kivilaji lähde: GTK, Maankamara karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000
  - Lämmönjohtavuus lähde: GTK raportti "Kivilajien lämmönjohtavuus Suomessa: yhteenveto mittauksista 1964-1994" [http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/q18\\_95\\_1.pdf](http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/q18_95_1.pdf)
- **Pohjavesialueet**
  - Lähde: SYKE avoin aineisto, paikkatietoikkuna, Pohjavesialueet kartta(1:20 000)





## Nykyiset lämmityksen kustannukset ja CO<sub>2</sub> päästövaikutukset



## Kampuskohtaiset tarkemmat tarkastelut geoenergiapotentiaalista

- MAAPEITEPAKSUUS
- KIVILAJI JA SEN LÄMMÖNJOHTAVUUS
- POHJAVESIALUEET



## Oulu

### Maapeitepaksuus



Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maapeitepaksuus 1:1 000 000  
 ○ = kampusalue

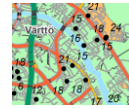
➤ Linnanmaa maapeitteen paksuus 10-30 metriä hakkupalvelun kartan perusteella

- GTK:n suorittaminen tarkempien mittausten mukaan lähialueilla 10-20 metrin maapeite.



➤ Kontinkankaan maapeitteen paksuus 1-10 metriä hakkupalvelun kartan perusteella

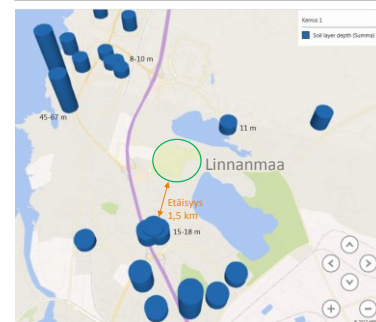
- GTK:n tarkempien mittausten perusteella lähialueella 15-25 metrin maapeite



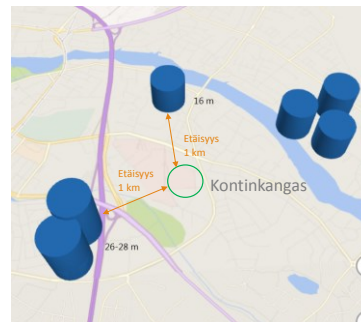
Lähde: GTK, Oulun geoenergiapotentiaalin karttoitus

## Oulu

### Maapeitteen paksuus lähialuille porattujen kaivojen perusteella



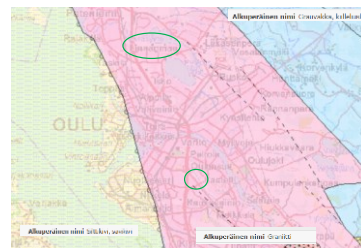
Lähde: Geologian tutkimuskeskus, porareiden kairaustietoja



## Oulu

### Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet

➤ Kivilaji Linnanmaan ja kontinkankaan alueella Graniitti. Graniitin lämmönjohtavuus on keskimäärin **3,55 W/(mK)**



Lähde: GTK, Maankamara karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000

➤ Kumpikaan kampuksista ei sijaitse pohjavesialueella



## Kuopio

### Maanpeitepaksuus



Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maanpeitepaksuus 1:1 000 000

➤ Savilahden kampusalue sijaitsee raja-alueella, jossa maanpeitteen paksuus **1-30 metriä**

## Kuopio

### Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet

➤ Kivilaji Kuopion kampusalueella on kiillegneissi, jonka lämmönjohtavuus on **2,9 W/(mK)**



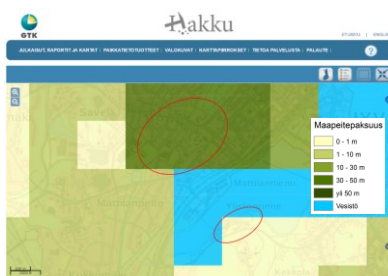
Lähde: GTK, Maankamara karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000

➤ Kuopion kampus ei sijaitse pohjavesialueella



## Jyväskylä

### Maanpeitepaksuus



Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maanpeitepaksuus 1:1 000 000

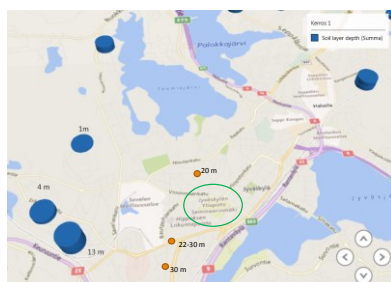
➤ Seminaarinmäki sijaitsee tummanvihreällä alueella joka maanpeitteen paksuus kartan luokittelun mukaan on 30–50 metriä.

○ Vaatii lisätutkimuksia. Teoriassa maanpeitteen paksuus on kustannus syistä liian suuri maalämpökaivoja varten.

➤ Ylistönrinne sijaitsee rinteellä vesistön vieressä. Ylistönrinteellä maapeite on pieni, vain 0-1 metriä.

## Jyväskylä

Maapeitteen paksuus lähialuille porattujen kaivojen perusteella



➤ Voidaan huomata, että myös tunnettujen maapeitteiden perusteella Seminaarinmäen maanpeite on noin 20m.

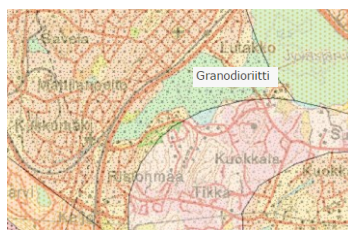
Lähde:  
Siniset kohteet: GTK, Asmo Huusko, porareiden kairaustietoja  
Oranssit kohteet: Kaivoporaus Olympia Oy

## Jyväskylä

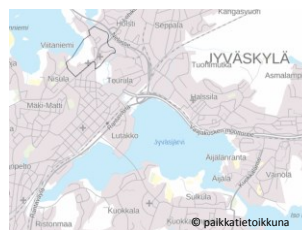
Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet

➤ Seminaarinmäen ja Ylistönrinteen kivilaji on granodioriitti jonka lämmönjohtavuus on erittäin hyvä. GTK:n raportin mukaan **3,19 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>**

➤ Seminaarinmäki tai Ylistönrinne ei kumpikaan sijaitse pohjavesialueella

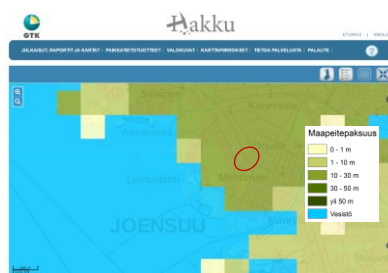


Lähde: GTK, Maankama karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000



## Joensuu

Maanpeitepaksuus



Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maapeitepaksuus 1:1 000 000

➤ Joensuun kampusalueen maapeitteen paksuus on 10-30 metriä

◦ Maapeite on suhteellisen paksu ja ehdotetaan suoritettavaksi tarkempia tutkimuksia maanpeitteen paksuudesta

## Joensuu

Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet

➤ Kivilaji: Kiilleliuske lämmönjohtavuus  $2,8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

➤ Ei sijaitse pohjavesialueella



Lähde: GTK, Maankamara karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000



## Lappeenranta

Maanpeitepaksuus



Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maanpeitepaksuus 1:1 000 000

➤ Skinnarilan kampusalue sijaitsee vesistön vieressä ja sen maanpeitepaksuus kartan perusteella on mahdoton arvioida. Oletetaan alueen maanpeitepaksuudeksi 30-50m

- Vaaditaan tarkempia tutkimuksia maanpeitepaksuudesta
- GTK:n porareiden kairaustiedoista ei myöskään löytynyt tarkempia tietoja



Lähde: GTK, Asmo Huusko, porareiden kairaustietoja

## Lappeenranta

Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet

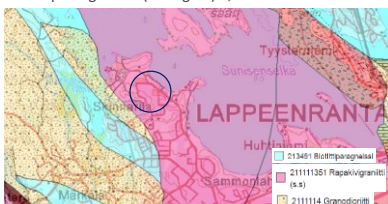
➤ Skinnarila sijaitsee kivilajien raja-alueella.

➤ Granodioriitti  $3,19 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

➤ Gneissien ja liuskeiden keskimääräinen lämmönjohtavuus on  $2,8-3,0 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

➤ Rapakivigraniitti (Viborgiitti)  $3,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$

➤ ei sijaitse pohjavesialueella, mutta sen rajalla kylläkin



Lähde: GTK, Maankamara karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000



## Rovaniemi

### Maanpeitepaksuus



Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maapeitepaksuus 1:1 000 000

- Lapin yliopiston kampusalue sijaitsee vesistön vieressä ja maapeitepaksuuden raja on epäselvä. Oletetaan paksuus kartan mukaan 1-10m.
- Vaaditaan tarkempia tutkimuksia maanpeitteen paksuudesta

## Rovaniemi

### Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet

- Rovaniemen yliopistoalueen kivilaji voidaan lukea kiilleliuskeeksi jonka lämmönjohtavuus  $2,8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$



Lähde: GTK, Maankamara karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000

- Lapin yliopiston kampusalue ei sijaitse pohjavesialueella

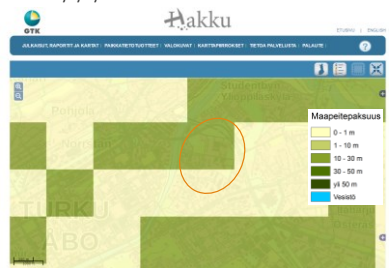


© paikkatietoikkuna

## Turku

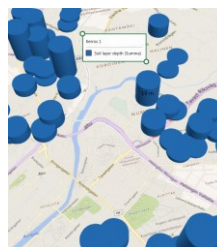
### Maanpeitepaksuus

- Turun yliopiston alueen maapeite on paksuudeltaan 0-30 metriä. Kampusalue on laajalle levittäytynyt.



Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maapeitepaksuus 1:1 000 000

- Porareiden mukaan maanpeitepaksuus on kaikkea 2,6 ja 27 metrin väliltä



Lähde: Geologian tutkimuskeskus, porareiden kairaustietoja





## Tampere

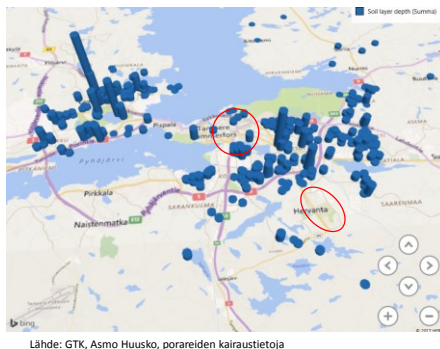
### Maanpeitepaksuus



- Tampereen yliopiston (TaY) kampusalue sijaitsee raja-alueella, jossa maanpeitteen paksuus 10-50 metriä
  - Vaaditaan tarkempia tutkimuksia maanpeitteen paksuudesta
- Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) kampusalueella maanpeitteen paksuus 0-1 m metriä
  - Maanpeitteen paksuuden puolesta otollinen paikka maalämpökaivojen poraamiselle

## Tampere

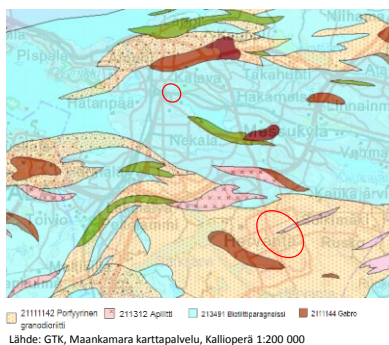
### Maanpeitteen paksuus lähialuille porattujen kaivojen perusteella



- Tampereen yliopiston (TaY) kampusalue sijaitsee raja-alueella, jossa maanpeitteen paksuus porareiden kairaustietojen mukaan lähialueilla **8-32m**
- Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) kampusalueella maanpeitteen paksuus porareiden kairaustietojen mukaan **3-34m**

## Tampere

### Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet



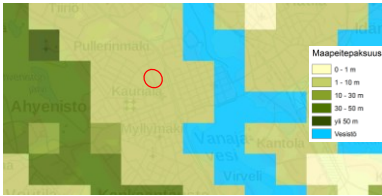
- TAY, Kivilaji voidaan lukea kiilleliuskeeksi jonka lämmönjohtavuus **2,8 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>**
- TTY, Kivilaji porfyryrinen granodioriitti jonka lämmönjohtavuus on erittäin hyvä. GTK:n lajittelun mukaan yli **3,19 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>**



- TAY ei sijaitse pohjavesialueella
- TTY ei sijaitse pohjavesialueella

# Hämeenlinna

## Maanpeitepaksuus



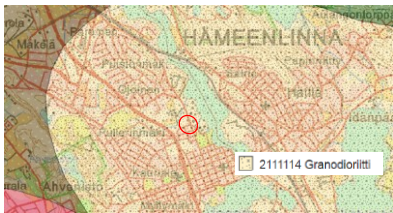
➤Maanpeitepaksuus koulun alueella 1-10 m

Lähde: Geologian tutkimuskeskus hakkupalvelu, maanpeitepaksuus 1:1 000 000

# Hämeenlinna

## Kivilaji, lämmönjohtavuus ja pohjavesialueet

➤Hämeenlinnan normaalikoulun alueen kivilaji on granodioriitti jonka lämmönjohtavuus on erittäin hyvä. GTK:n raportin mukaan **3,19 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>**



Lähde: GTK, Maankamara karttapalvelu, Kallioperä 1:200 000

➤Hämeenlinnan normaalikoulu ei sijaitse pohjavesialueella.



# Koonti

Kampus	Oulu, Linnanmaa	Oulu, Kontinkangas	Kuopio	Jyväskylä, Seminaarimäki	Jyväskylä, Ylistönrinne	Joensuu	Lappeenranta	Rovaniemi	Turku	Vaasa	Tampere, Tay	Tampere, TTY	Hämeenlinna
Maanpeitepaksuus [m]	10-30	15-25	1-30	30-50	0-1	10-30	30-50	1-10	0-30	1-10	10-50	0-1	1-10
Kivilaji	Graniitti	Graniitti	Kiillegneissi	Granodioriitti	Granodioriitti	Kiilleliuske	Rapakivi-graniitti	Kiilleliuske	Kiilleliuske	Kiilleliuske	Kiilleliuske	Granodioriitti	Granodioriitti
Lämmönjohtavuus [W/mK]	3,55	3,55	2,9	3,19	3,19	2,8	3,5	2,8	2,8	2,8	2,8	3,19	3,19
Sijaitseeko pohjavesialueella?	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei, rajalla	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei



Liite 3. Uponorin vesistölämpöpumpputarjous

INVESTOINTILASKELMA										Päivitys		Tekijä	
Järjestelmän toimittaja										21.4.2017		SM	
LASKELMAN MUUTTUJAT:													
Voit muuttaa vain punaisella merkittyä lukuja!													
Investointi Lämmitys €		500 000		-	200 000	0 %	700 000	-	700 000	0 %	Muut kustannukset, laatijan arvio, katso alta mitä arvio sisältää ja muuta arviota sieltä!		
/. Mahdollinen energia-avustus											Huom! Arvonlisävero		
Laskelmassa käytetty investointi											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		
											%		

TARKEMPI ERITTELY LASKELMAN PERUSTEENA OLEVAN ENSIMMÄISEN VUODEN TUOTTO- JA KULUTUSARVOISTA

Kuukausi	Energiakulutus Lämmitys MWh/kk	VLP Lämpö tuotto MWh/kk	Huiput MWh/kk	Myyrävä energia /ylimääräinen kapasiteetti	Siirtimien lämmönsiirtoeho kW	VLP Lämmitysteho kW	Vesistön Lämpö	Lämmitys COP ±5%	VLP Kustannus/kk	KL Kustannus/kk	Säästö
Tamm	949	223	727	0	243	386	1	2,69	51 033 €	56 926 €	5 892 €
Helmi	778	223	555	0	243	386	1	2,69	40 755 €	46 647 €	5 892 €
Maal	640	223	417	0	243	386	1	2,69	32 454 €	38 346 €	5 892 €
Huhti	508	238	270	0	272	412	5	2,95	23 455 €	30 439 €	6 984 €
Touko	382	306	76	133	385	588	10	3,12	13 135 €	22 928 €	
Kesä	316	253	63	180	415	581	19	3,50	10 314 €	18 975 €	8 661 €
Heinä	323	258	65	176	415	581	19	3,50	10 529 €	19 370 €	8 841 €
Elo	343	274	69	166	415	581	19	3,50	11 174 €	20 556 €	9 383 €
Syys	363	290	73	143	385	588	10	3,12	12 456 €	21 742 €	9 286 €
Loka	527	321	206	0	385	588	10	3,12	21 342 €	31 625 €	10 284 €
Marras	607	238	369	0	272	412	5	2,95	29 385 €	36 369 €	6 984 €
Joulu	857	223	635	0	243	386	1	2,69	45 499 €	51 391 €	5 892 €
Σ =	6 593	3 068	3 525	798				2,83	301 532	395 316	93 784

Laitteiston käyttöaste	80 %
Laitteiston energiaperitto	63 %